Lycée technique Mohamed V
Centre des classes préparatoires
Béni Mellal M.P.S.I

COURS DE PHYSIQUE

MPSI

OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

COURS
TP-COURS
TP

SAID EL FILALI

Table des matières

Chapitre 1

APPROXIMATION DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

1.1 Notion du rayon lumineux

1.1.1 Généralités

▷ *Les phénomènes de diffraction et les interférences montrent que la lumière est une onde électromagnétique de longueur d'onde* $\lambda \in [400\ nm, 700\ nm]$ *(spectre visible)se propage dans le vide à la vitesse c=3.10*^{8} $m.s^{-1}$.

▷ *L'approximation de l'optique géométrique consiste à tendre la longueur d'onde* λ *vers zéro* $(\lambda \to 0)$ *; c'est à dire négliger les variations de l'amplitude de l'onde électromagnétique sur une distance de l'ordre de la longueur d'onde* λ *, afin de négliger le phénomène de diffraction.*

▷ *L'optique géométrique s'interesse à la* ***formation de l'image*** *par les instruments optiques qui suggère l'existence du notion du rayon lumineux .*

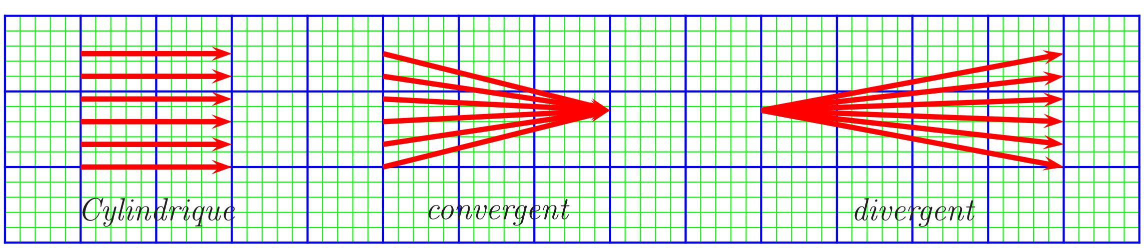
▷ *Un milieu est dit transparent s'il laisse passer la lumière (eau , air, verre,...)*

▷ *Un milieu est dit homogène si toutes les propriétés physiques (la masse volumique , l'indice de réfraction,...) sont les mêmes quels que soit le point M du milieu.*

▷ *Un milieu est dit isotrope si les propriétés physiques ne dépendent pas de la direction (possède au moins localement une symétrie sphérique)*

▷ ***Principe de propagation rectiligne de la lumière***
Dans un milieu ***transparent homogène et isotrope*** *la lumière se propage en ligne droite.*

▷ *l'ensemble des rayons lumineux constitue un faisceau lumineux qui peut avoir un faisceau :*



1.1.2 Limite du modèle

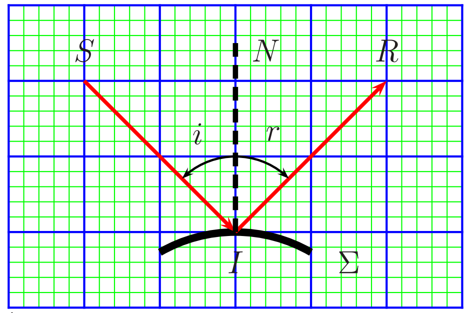
La notion du rayon lumineux perd sa signification si les dimensions des ouvertures des diaphragmes sont inférieurs devant la longueur d'onde λ*.(voir TP-COURS)*

1.2 Réflexion et réfraction

La Réflexion et la réfraction sont régient par les lois de ***Descartes-Snell***

1.2.1 Réflexion

Soit Σ une surface réfléchissante et SI un rayon incident.



- SI *: rayon incident*
- IR *: rayon réfléchi*
- i *: angle d'incidence*
- r *: angle de réflexion*
- I *: point d'incidence*
- IN *: la normale*
- SIN *: plan d'incidence*

Les lois de ***Descartes-Snell*** *pour la réflexion sont :*
♠ *Le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence.*
♠ *L'angle d'incidence i est opposé à l'angle de réflexion r :*

$$i = -r \Longrightarrow | i | = - | r |$$

Remarque- 1 *Lorsque on tourne le miroir d'un angle α , le rayon réfléchi tourne d'un angle de 2α*

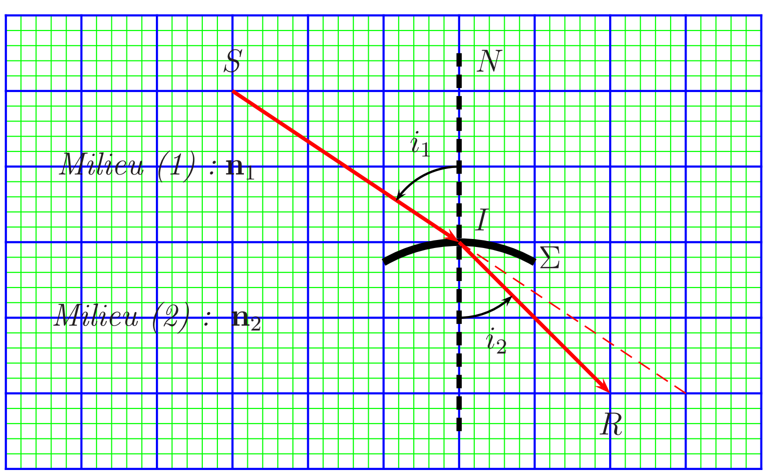
1.2.2 Réfraction

Soit Σ un dioptre (surface) qui sépare deux milieux différents. On caractérise chaque milieu par son indice de réfraction **n** *définie par :*

$$\mathbf{n} = \frac{c}{v} > 1$$

avec c la vitesse de propagation de la lumière dans le vide et v la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu.
Exemples *:*

Milieu	*vide*	*air(CNTP)*	*eau*	*Verre*	*Verre à fort indice*
n	*1*	*1,00027*	*1,33*	$\simeq$ *1,5*	*1,6*$\leqslant$ **n** $\leqslant$*1,8*



*Les lois de **Descartes-Snell** pour la réfraction sont :*

♠ *Le rayon réfracté appartient au plan d'incidence.*

♠ *L'angle d'incidence i_1 est égal à l'angle de réfraction i_2 vérifie :*

$$\mathbf{n}_1 \sin i_1 = \mathbf{n}_2 \sin i_2 \Longrightarrow \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} = \mathbf{n}_{2/1}$$

$\mathbf{n}_{2/1}$ *l'indice de réfraction relatif du milieu 2 par rapport au milieu 1.*

Remarque- 2 *Si i_1 et i_2 sont faibles alors la loi de **Descartes-Snell** devient $\mathbf{n}_1 i_1 = \mathbf{n}_2 i_2$: c'est la loi de **Kepler***

1.2.3 Étude de la réfraction

On a $\mathbf{n}_1 \sin i_1 = \mathbf{n}_2 \sin i_2 \Longrightarrow \mathbf{n}_1 \cos i_1 di_1 = \mathbf{n}_2 \cos i_2 di_2$

Donc $\dfrac{di_2}{di_1} = \dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2}\dfrac{\cos i_1}{\cos i_2} > 0$

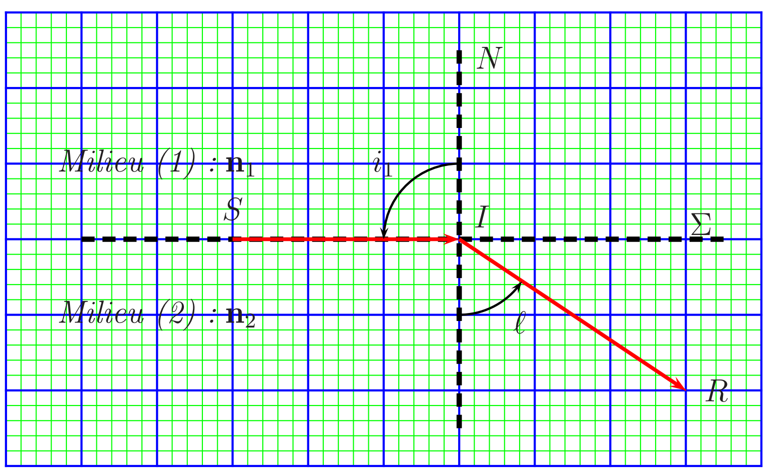
on conclut que i_2 est une fonction croissante de i_1.

1.2.3.1 Cas $\mathbf{n}_1 < \mathbf{n}_2$:

On dit dans ce cas que le milieu (2) est plus réfringeant que le milieu (1).

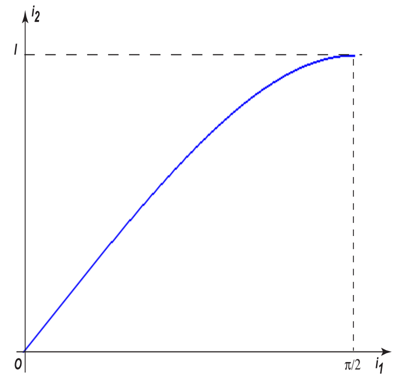
On a $\sin i_2 = \dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} \sin i_1$ *et puisque* $\dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} < 1$ *alors* $\sin i_2 < \sin i_1 \Longrightarrow i_2 < i_1$

• *Le rayon réfracté se rapproche de la normale.*



• *Lorsque i_1 croît de 0 à $\dfrac{\pi}{2}$, i_2 croît de 0 à ℓ : angle limite de réfraction ;avec*

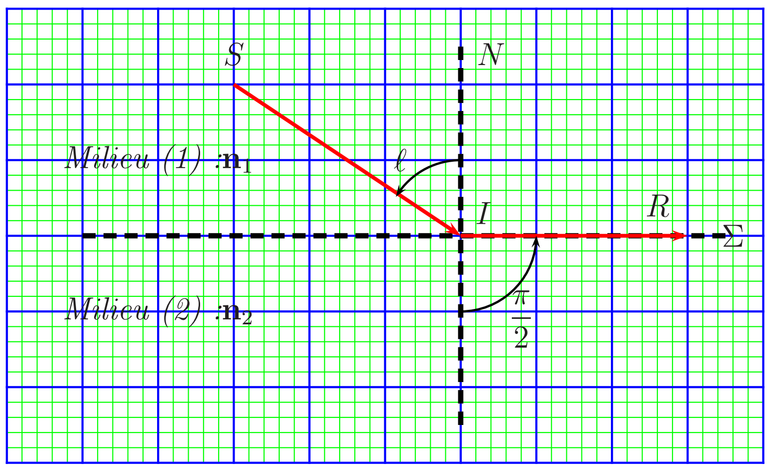
$$\sin \ell = \frac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} \Longrightarrow \ell = \arcsin \frac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2}$$



1.2.3.2 Cas $\mathbf{n}_1 > \mathbf{n}_2$

dit dans ce cas que le milieu (1) est plus réfringeant que le milieu (2).
On a $\sin i_2 = \dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} \sin i_1$ *et puisque* $\dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} > 1$ *alors* $\sin i_2 > \sin i_1 \Longrightarrow i_2 > i_1$

• *Le rayon réfracté s'éloigne de la normale.*



• *Lorsque* i_2 *croît de 0 à* $\dfrac{\pi}{2}$ *,* i_1 *croît de 0 à* ℓ *: angle limite de réfraction ;avec*

$$\sin \ell = \frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} \Longrightarrow \ell = \arcsin \frac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1}$$

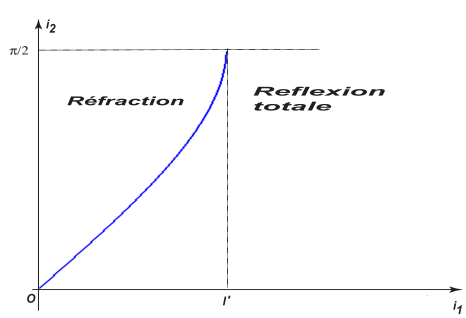
A.N : $\mathbf{n}_2 = 1$ *;* $\ell = 42^o$ $\qquad \mathbf{n}_1 = 1,5^o$

***Remarque-* 3 :**

Si $i_1 > \ell$ *la loi de* ***Descartes-Snell*** *donne :*

$\sin i_2 = \dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} \sin i_1 > \dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} \sin \ell = \dfrac{\mathbf{n}_1}{\mathbf{n}_2} \times \dfrac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1} = 1 \Longrightarrow \sin i_2 > 1$ ***Impossible dans*** $\mathbb{R}$

L'expérience montre que le rayon incident se réfléchit totalement : C'est la réflexion totale



1.2.4 Étude du prisme

On assimile la valeur de l'indice de l'air à 1

On considère un prisme isocèle,réalisé dans un milieu solide transparent d'indice de réfraction **n** *à mesurer, d'arête P et d'angle au sommet A. Ce prisme est plongé dans l'air dont l'indice de réfraction est assimilé à l'unité. Un rayon du «faisceau parallèle» incident contenu dans le plan de figure perpendiculaire à l'arête P passant par un point B,arrivé au point I sur la face d'entrée du prisme sous l'angle d'incidence i ; on s'intéresse, dans la suite, au cas où le rayon émergent en I' existe ; C est un point situé sur cet émergent.*
Tous les angles sont définis sur la figure 1 ci-après. La convention de signe, commune à tous ces angles, est la convention trigonométrique*.*
On notera que dans le cas particulier de figure proposé ci-dessous, les valeurs des six angles A, i, i', r, r' et D sont toutes comprises entre 0 et $\pi/2$ rad.

1.2.4.1 Formules générales

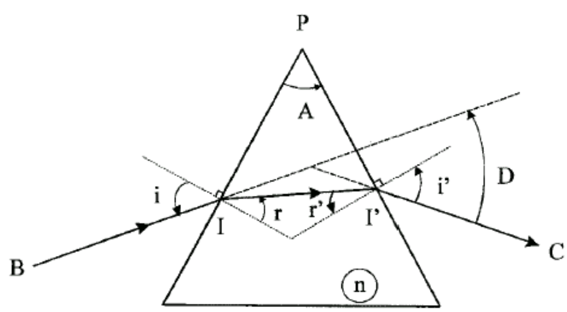


Figure 1

- *La loi de réfraction aux points :*
- I :$\sin i = n \sin r$
- I' :$n \sin r' = \sin i'$
- *Relation entre les angles A, r et r' :*

$$A = r + r'$$

- *La relation entre les angles D, i, i' et A*

$$D = i + i' - A$$

Remarque *: A est faible $\Longrightarrow$ r et r' de même i et i' sont faibles ce qui simplifie les lois de D.S (lois de Kepler)$i = \mathbf{n}r$ et $\mathbf{n}r' = i'$ qu'on remplace dans l'expression de D on trouve $D = (\mathbf{n} - 1)A$*
Commentaire :

• *D ne dépend pas de l'angle d'incidence*
• *Le rayon incident émerge en I' $\forall i$(pas de limite inférieure)*

1.2.4.2 Conditions d'émergence

Dans toute la suite , les angles ne sont pas nécessairement petits devant 1rad

Pour que le rayon émergent existe , il est nécessaire que les deux conditions suivantes soient satisfaites :
a) $A < 2\arcsin(\frac{1}{\mathbf{n}})$
b) $i_m < i < \frac{\pi}{2}$ *avec* $\sin i_m = \mathbf{n}\sin\left(A - \arcsin\left(\frac{1}{\mathbf{n}}\right)\right)$
En effet :
Conditions d'emergence avec ℓ l'angle limite c'est à dire $\sin\ell = 1/\mathbf{n}$ *:*
a) comme $r < \ell$ ainsi $r' < \ell$ alors $A = r + r' < 2\ell = 2\arcsin(\frac{1}{\mathbf{n}})$
b) On a : $\sin i = \mathbf{n}\sin r$
• *Réfraction en $I \Longrightarrow r < \ell$ donc $i < \pi/2$*
• *Réfraction en $I' \Longrightarrow r' < \ell$ et comme $r' = A - \ell$ alors :*
$\sin i_m = \mathbf{n}\sin(A - \arcsin(\frac{1}{\mathbf{n}}))$

1.2.4.3 Minimum de déviation

Dans toute la suite, nous considérons que ces deux conditions sont satisfaites et que par conséquent le rayon émergent existe toujours.
Montrons que :

$$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos i\cos r'}{\cos i'\cos r}$$

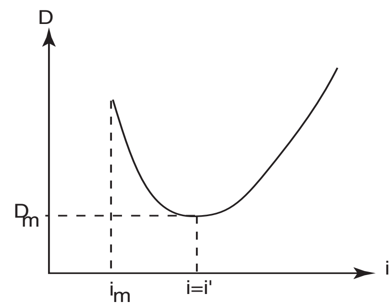
En effet :
$D = i + i' - A \Longrightarrow \frac{dD}{di} = 1 + \frac{di'}{di} - \frac{dA}{di}$ *; or* $\frac{di'}{di} = \frac{di'}{dr'}\frac{dr'}{dr}\frac{dr}{di}$
de même $\frac{dr}{di} = \frac{\cos i}{\mathbf{n}\cos r}$ *;* $\frac{dA}{di} = 0 \Longrightarrow \frac{dr}{di} = -\frac{dr'}{di}$ *;* $\frac{dr'}{di'} = \frac{\cos i'}{\mathbf{n}\cos r'}$
on tire le résultat :$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos i\cos r'}{\cos i'\cos r}$
Déduisons que :$\frac{dD}{di} = 0 \Longrightarrow (\mathbf{n}^2 - 1)(\sin^2 i - \sin^2 i') = 0$
On enlève au carrée et on remplace $\cos^2 x$ par $1 - \sin^2 x$ et on utilisant les lois

de D.S en trouve le résultat.

La déviation D est minimale si $\dfrac{dD}{di} = 0$ *comme les angles sont tous positifs et* $\mathbf{n} > 1$ *alors* $\sin^2 i = \sin^2 i' \Longrightarrow i = i'$
L'expression de **n** *en fonction de A et* D_m
Loi de D.S enI donne

$$\mathbf{n} = \frac{\sin(\dfrac{A + D_m}{2})}{\sin \dfrac{A}{2}}$$

L'allure de la courbe $D = D(i)$



Chapitre 2

FORMATION DE L'IMAGE DANS LES CONDITIONS DE GAUSS

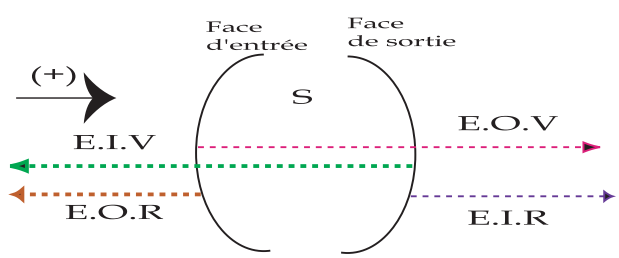
2.1 Systèmes optiques centrés

2.1.1 Définition

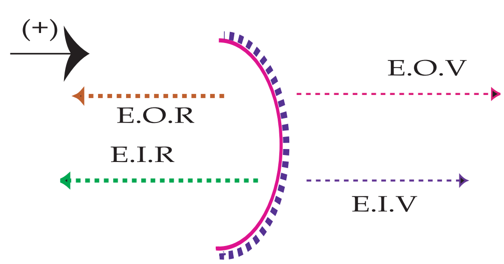
*Un système optique centré est une suite de dioptres et de miroirs dont les centres sont situés sur un même axe (axe principal) et qui sont séparés par des milieux transparents et homogènes :**système possédant un axe de révolution** = **axe optique***

2.1.2 Espace objet - Espace image :

2.1.2.1 Système dioptrique :



2.1.2.2 Système catoptrique :



2.2 Notion de stigmatisme et applanitisme

• ***On rappelle qu'un système optique est stigmatique pour deux points A et A' si tout rayon lumineux passant par A passe par A' après avoir traversé le système optique.***
On dit que A et A' sont deux points conjugués.

Remarque- *4 On distingue deux types de stigmatismes :*

▶ ***Stigmatisme rigoureux*** *:Tous les rayons incidents de A passent par A' (image d'un point est un point)*

Exemples *:Miroir plan ; Miroir parabolique (∞, Foyer)*

▶ ***Stigmatisme approché*** *:Tous les rayons incidents de A passent au voisinage de A' (image d'un point est une tache centré en A')*

Exemples *:lentilles ; Miroirs sphériques.*

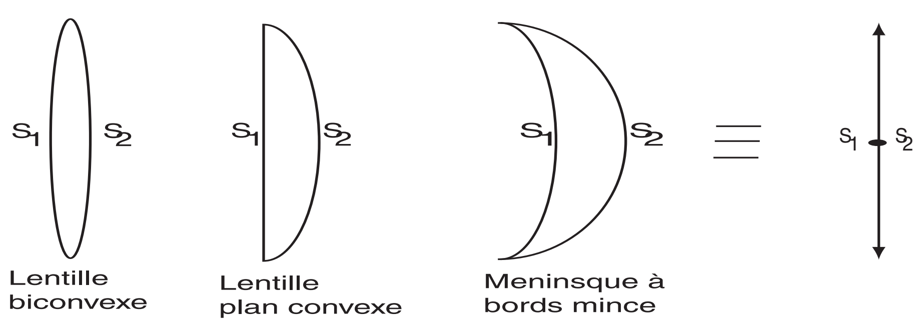
• ***On rappelle qu'un système optique présentant un axe de révolution Δ (axe optique) est aplanétique s'il donne d'un objet AB perpendiculaire à Δ une image perpendiculaire à Δ.***
Projection sur PC

2.3 Lentilles sphériques minces dans les conditions de Gauss

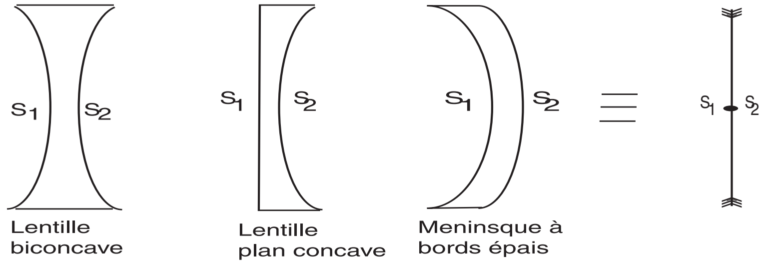
2.3.1 Définitions :

Une lentille sphérique est l'association de deux dioptres dont l'un au moins est sphérique.
Elles sont très utilisées en appareils photos , microscope , lunettes astronomiques , jumelles,.....
On distingue deux catégories :

▶ ***Lentilles à bords minces : Lentilles Convergentes***



▶ ***Lentilles à bords épais : Lentilles divergentes***



2.3.2 Conditions de Gauss :

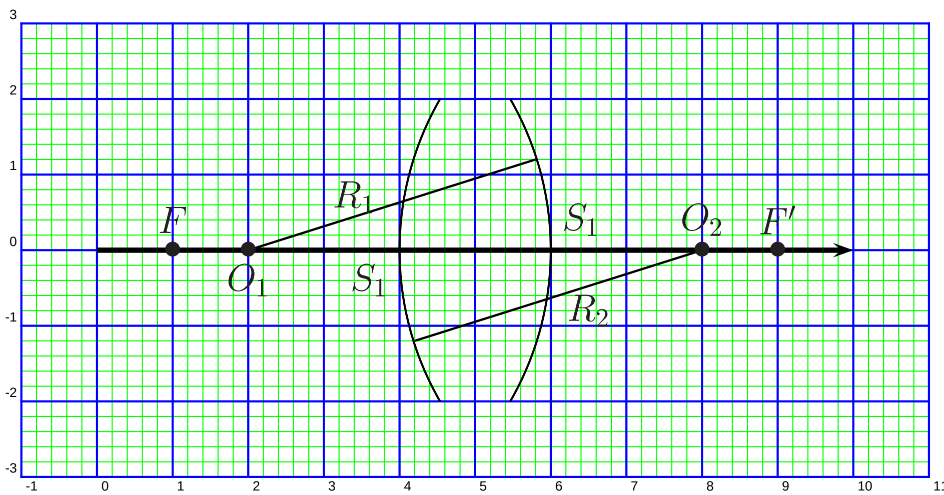
Un Système centré est utilisé dans les conditions de Gauss si :

- ***Les rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique.***
- ***Les rayons passent au voisinages du centre du système.***

2.3.3 Stigmatisme approché :

Réalisé dans les conditions de l'approximation de Gauss.

2.3.4 Lentilles minces :



Une lentille est mince si son épaisseur $e = S_1S_2$ *est très négligeable devant* R_1 ,R_2 *et* $\mid R_2 - R_1 \mid$

Dans ce cas $S_1 \equiv S_2 \equiv O$: `centre optique de la lentille`

$$\boxed{\overline{OF} = f}$$

distance focale objet .

$$\boxed{\overline{OF'} = f'}$$

distance focale image .

On appelle **vergence** *d'une lentille :*

$$V = \frac{\mathbf{n}_i}{f'} = \frac{\mathbf{n}_o}{f}$$

$\mathbf{n}_o$ *et* $\mathbf{n}_i$ *indice de réfraction des milieux objet et image.*
Si les milieux (O et I) = air ($\mathbf{n} \simeq 1$) *alors* $f = f' = 1/V$

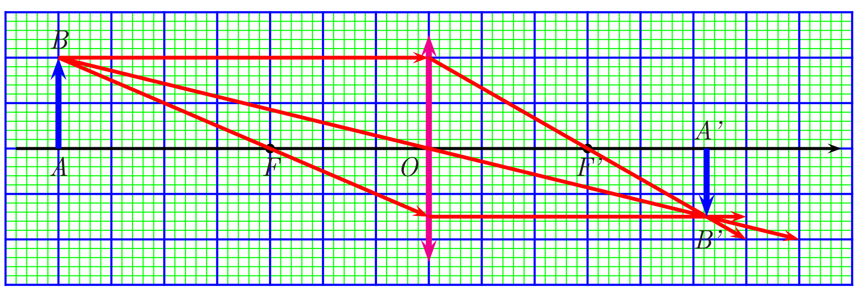
***Remarque-* 5 -**
• ***Lentille Convergente*** $\Longrightarrow V > 0, f' > 0, f < 0.$
• ***Lentille divergente*** $\Longrightarrow V < 0, f' < 0, f > 0.$

2.3.5 Formation de l'image

On rappelle que :
• *Tout rayon parallèle à l'axe optique passe par le foyer image F' de la lentille.*
• *Tout rayon passant par le foyer objet F sort parallèle à l'axe optique.*
• *Tout rayon passant par le centre optique O ne sera pas dévié.*

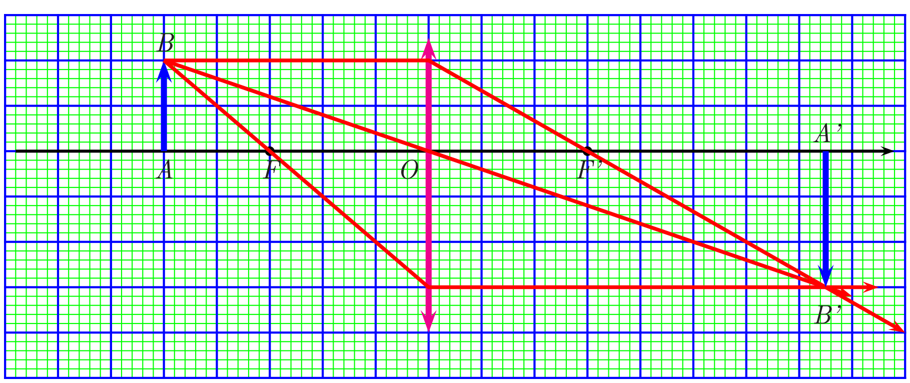
***Application :*Lentille mince convergente**

1. *Objet réel* ($-\infty < \overline{OA} < 2f$)



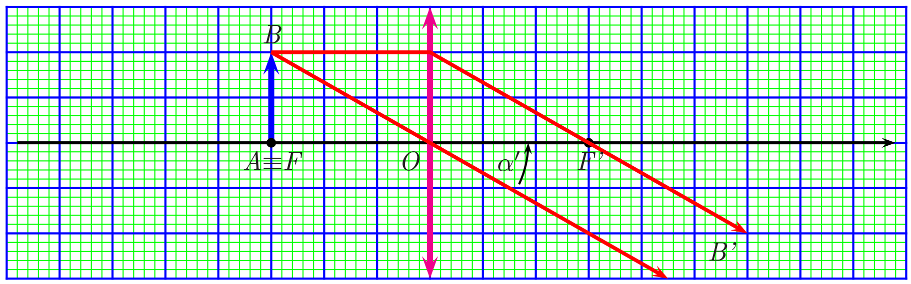
L'image est réelle ,renversée et plus petite que l'objet ($-1 < \gamma < 0$)

2. *Objet réel* ($2f < \overline{OA} < f$)



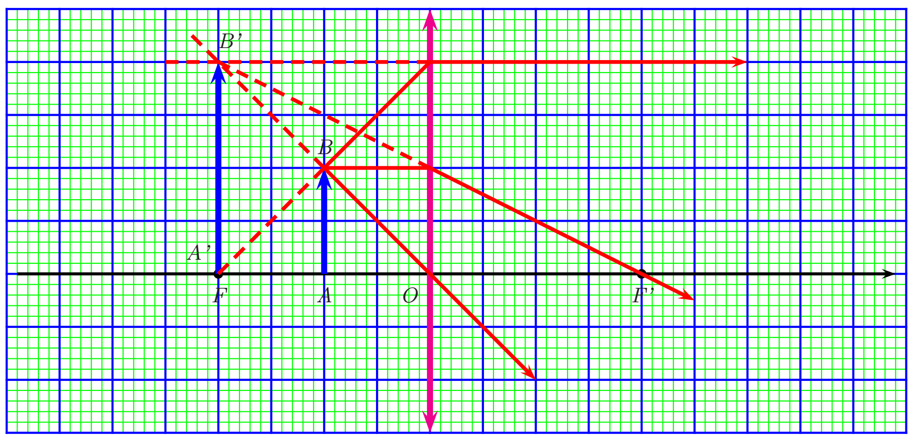
L'image est réelle ,renversée et agrandie ($-\infty < \gamma < -1$)

3. Objet réel dans le plan focal objet($\overline{OA} = f$)



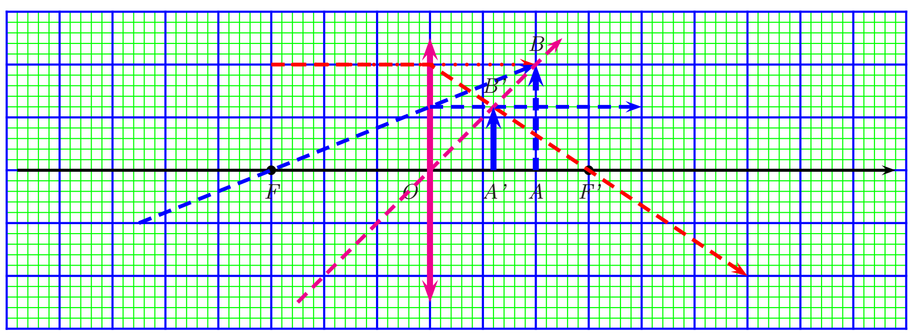
L'image à l'infini :$\alpha' = \dfrac{AB}{f}$

4. Objet réel entre le plan focal objet et la lentille ($f < \overline{OA} < 0$)



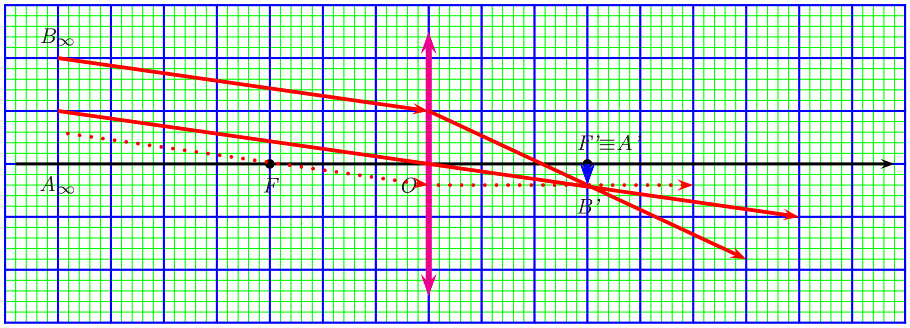
L'image est virtuelle , droite et agrandie

5. Objet virtuel ($0 < \overline{OA} < +\infty$)



L'image est réelle , droite et plus petite que l'objet

6. Objet réel à l'infini ($\overline{OA} \to -\infty$)



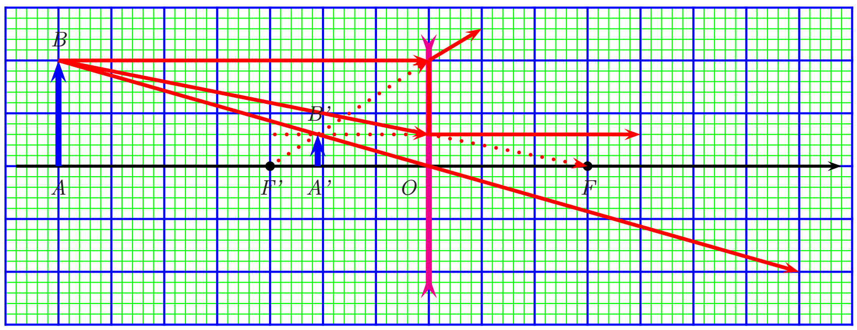
L'image est réelle dans le plan focal image $A' \equiv F'$

Remarque- 6 :

Seul un objet situé entre le plan focal objet et la lentille donne une image virtuelle.

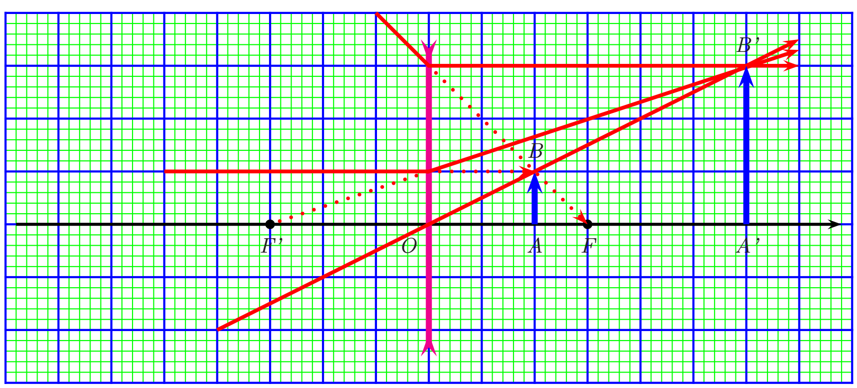
Application :Lentille mince divergente

1. *L'objet est réel $\overline{OA} < 0$*



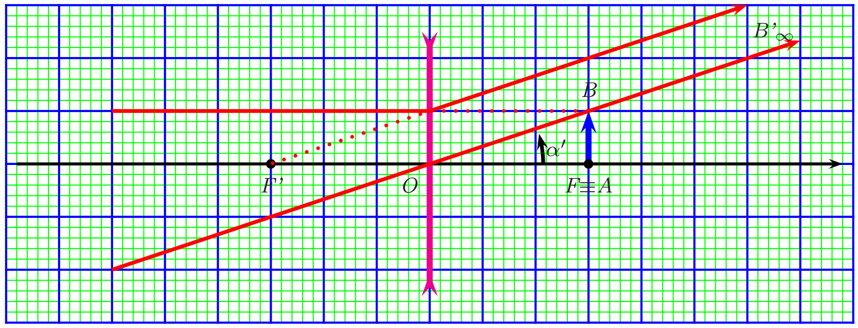
L'image est virtuelle droite et plus petite que l'objet

2. *L'objet est virtuel entre le plan focal objet et la lentille $0 < \overline{OA} < f$*



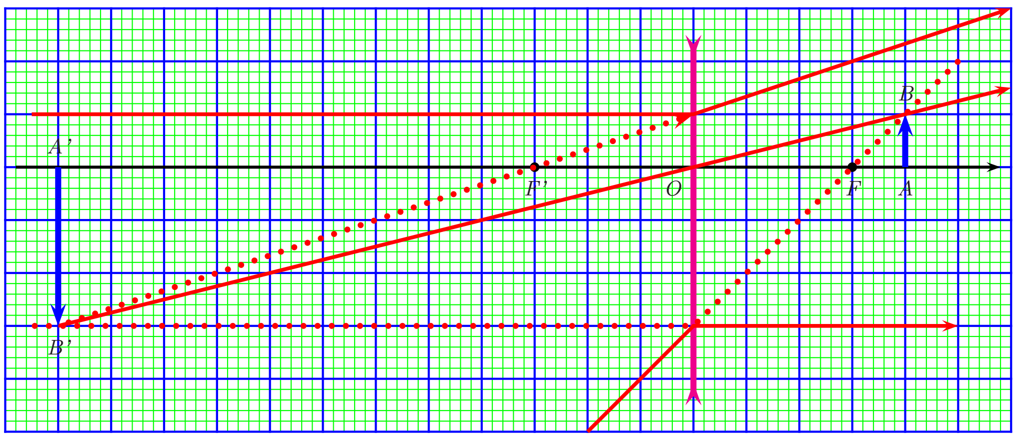
L'image est réelle droite et plus grande que l'objet.

3. *L'objet est virtuel dans le plan focal objet $\overline{OA} = f$*



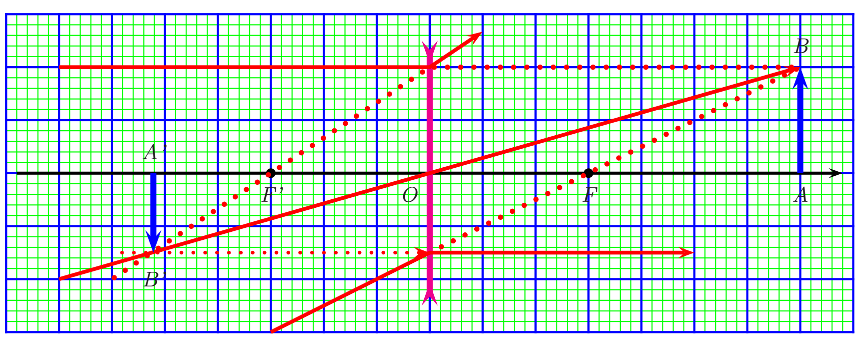
L'image est rejetée à l'infini $\alpha' = \dfrac{AB}{f}$

4. *L'objet est virtuel* $f < \overline{OA} < 2f$



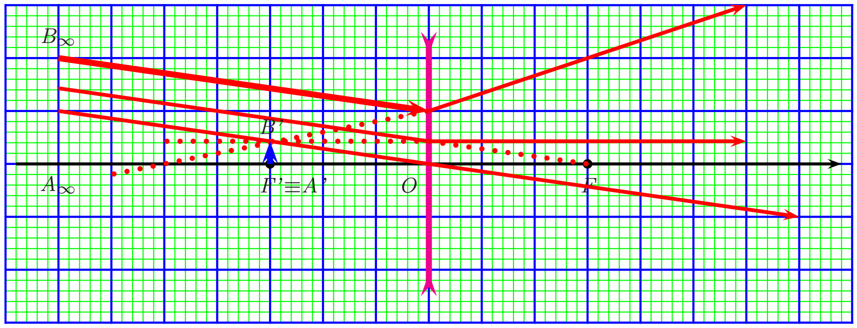
L'image est virtuelle renversée et plus grande que l'objet

5. *L'objet est virtuel* $2f < \overline{OA} < +\infty$



L'image est virtuelle renversée et plus petite que l'objet

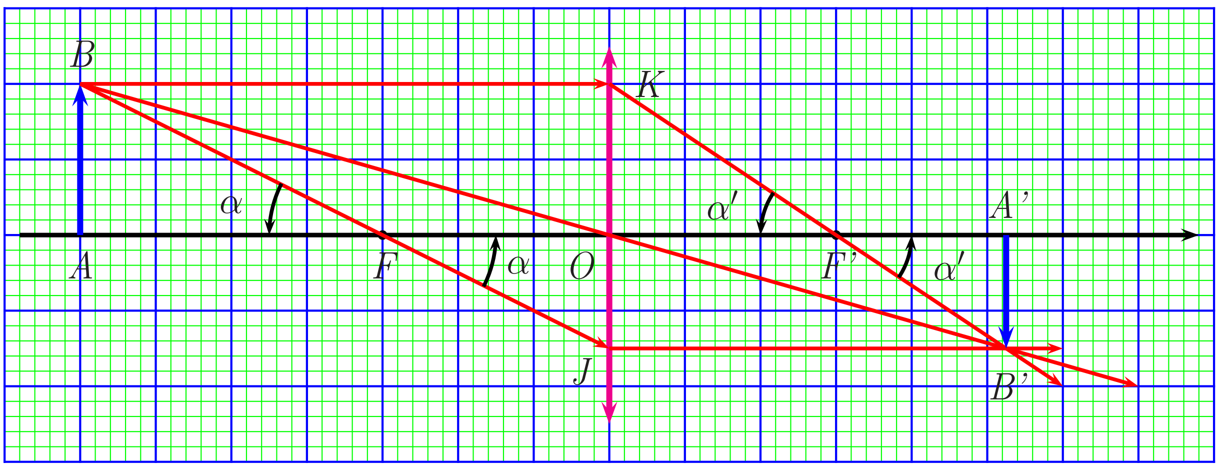
6. *L'objet est réel à l'infini* $\overline{OA} = -\infty$



L'image est virtuelle dans le plan focal image

***Remarque- 7** :*
Seul un objet virtuel placé entre la lentille et le plan focal objet donne une image réelle.

2.3.6 Grandissement transversal-Formule de Newton :



On a : $\tan\alpha = \dfrac{\overline{AB}}{\overline{AF}} = \dfrac{\overline{OJ}}{\overline{OF}} \Longrightarrow \mathbf{G}_t = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{f}{\overline{AF}} \qquad (1)$

$\tan\theta = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}} = \dfrac{\overline{AB}}{\overline{OF'}} \Longrightarrow \mathbf{G}_t = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{A'F'}}{\overline{OF'}} = \dfrac{\overline{A'F'}}{f'} \qquad (2)$

(1) = (2) $\Longrightarrow$ *la formule de Newton*

$$\overline{AF}.\overline{A'F'} = ff' = -f^2$$

2.3.7 Relation de conjugaison

Dans l'air on a :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

En effet :
$\overline{F'A'} = \overline{OA'} - \overline{OF'} = \overline{OA'} - f' \Longrightarrow \overline{OA'} = \overline{F'A'} + f'$

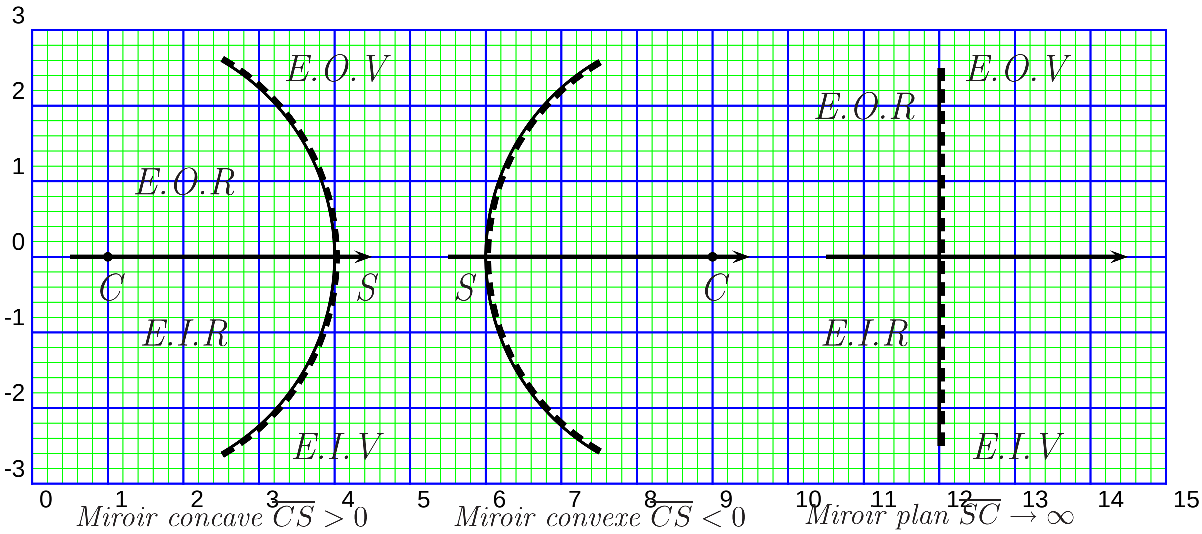
$$\overline{FA} = \overline{OA} - \overline{OF} = \overline{OA} - f \Longrightarrow \overline{OA} = \overline{FA} - f'$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} \quad & \frac{1}{\overline{F'A'} + f'} - \frac{1}{\overline{FA} - f'} \\ &= \frac{\overline{FA} - f' - \overline{F'A'} - f'}{\overline{F'A'}.\overline{FA} + f'(\overline{FA} - \overline{F'A'}) - f'^2} \\ &= \frac{1}{f'} \end{aligned}$$

2.4 Miroirs sphériques dans les C.G.

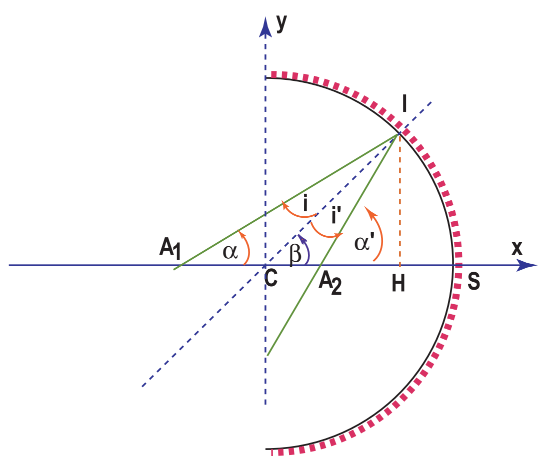
2.4.1 Définitions

C'est une surface réfléchissante de forme sphérique ; on distingue :



2.4.2 Relation de conjugaison

La relation de conjugaison pour le miroir sphérique est :



Condition de Gauss entraîne que H et S sont presque confondu et on a donc :

$\alpha = -\dfrac{\overline{HI}}{\overline{SA_1}} > 0$, $\alpha' = -\dfrac{\overline{HI}}{\overline{SA_2}} > 0$ *et* $\beta = -\dfrac{\overline{HI}}{\overline{SC}} > 0$

Ainsi :

$$\alpha + \pi - \beta - i = \pi \Longrightarrow i = \alpha - \beta$$

De même :

$$\beta + i' + \pi - \alpha' = \pi \Longrightarrow i' = \alpha' - \beta$$

Or d'après la relation de D.S pour la réflexion on a $i = -i'$ *donc* $2\beta = \alpha + \alpha'$

▶ ***Origine au sommet S :***

$$\frac{1}{\overline{SA_1}} + \frac{1}{\overline{SA_2}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

C'est la relation de conjugaison du miroir sphérique avec origine au sommet.

Remarque- 8 : Origine au centre C

$$\frac{1}{\overline{CA_1}} + \frac{1}{\overline{CA_2}} = \frac{2}{\overline{CS}}$$

2.4.3 Grandissement transversal

$$\gamma = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}}$$

▶ ***Foyers :***

⋆ *Foyer principal image* F_2

$A_1 \longrightarrow \infty \Longrightarrow A_2 \longrightarrow F_2$

$$\overline{SF_2} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

⋆ *Foyer principal objet* F_1

$A_2 \longrightarrow \infty \Longrightarrow A_1 \longrightarrow F_1$

$$\overline{SF_1} = \frac{\overline{SC}}{2}$$

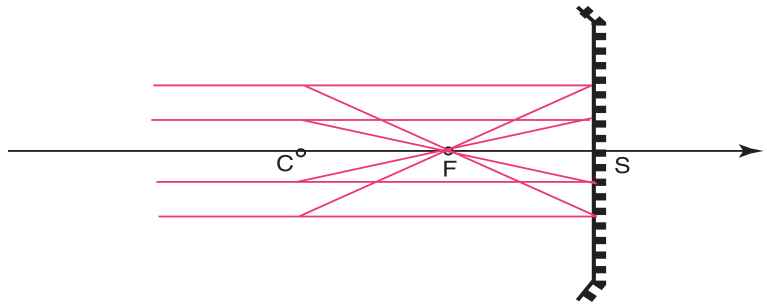
Conclusion :

$$F_1 \equiv F_2 \equiv F$$

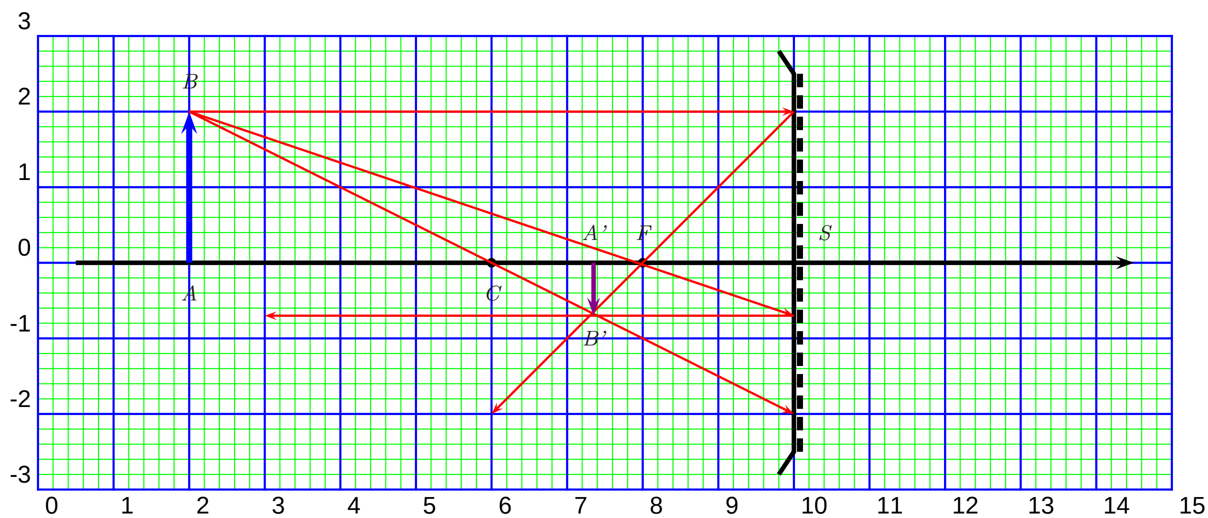
2.4.4 Formation de l'image

2.4.4.1 Miroirs concaves ou convergents

Dans ce cas $\overline{SC} < 0$ *et la distance focal* $f = \overline{SF} = \overline{SF'} = \dfrac{\overline{SC}}{2} < 0$ *ainsi le foyer* F *est réel.*
Le miroir concave est convergent en effet :

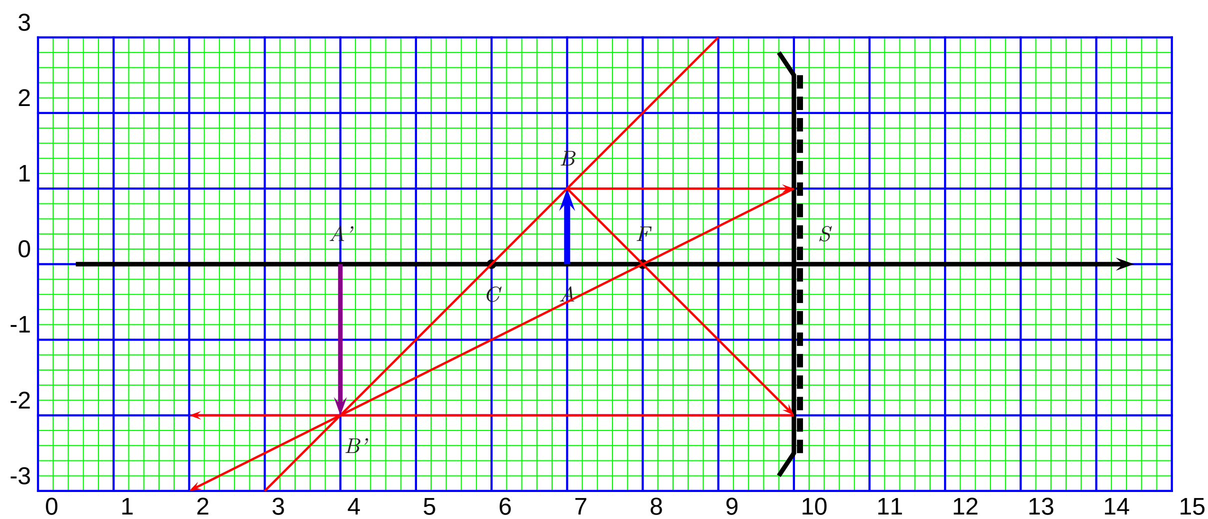


1. *L'objet est réel avec* $-\infty < \overline{SA} < 2f$



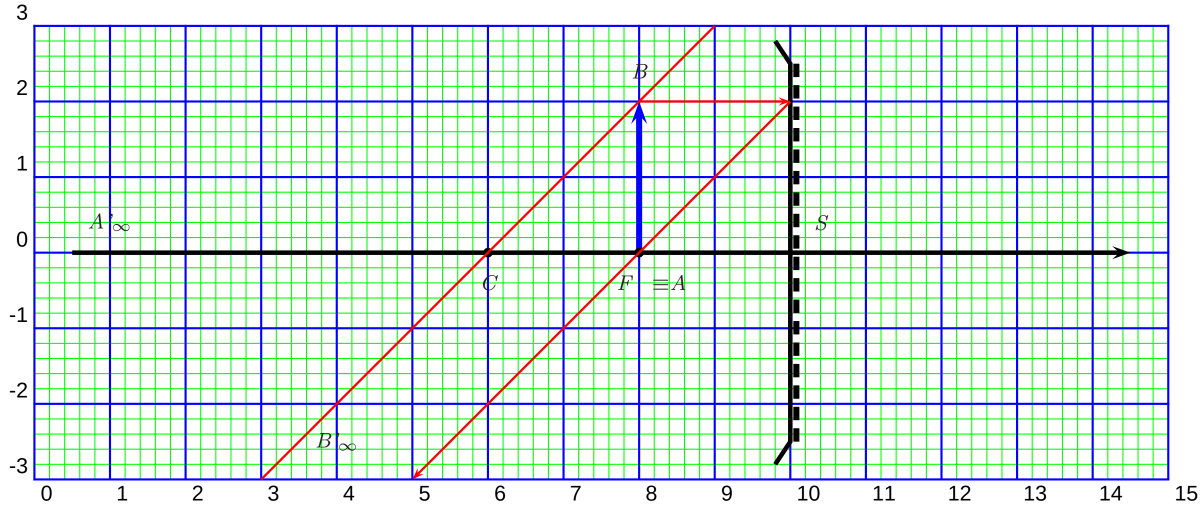
L'image est réelle renversée et plus petite que l'objet

2. *L'objet est réel avec* $2f < \overline{SA} < f$



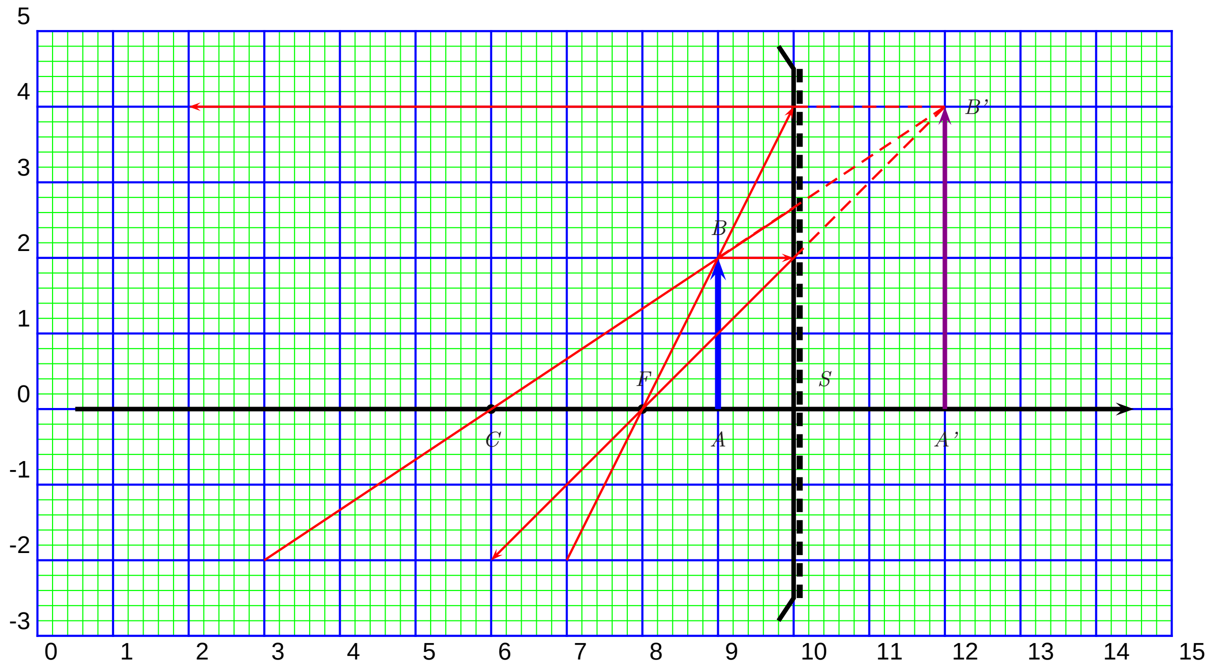
L'image est réelle renversée et plus grande que l'objet

3. *L'objet est réel dans le plan focal objet* $\overline{SA} = f$



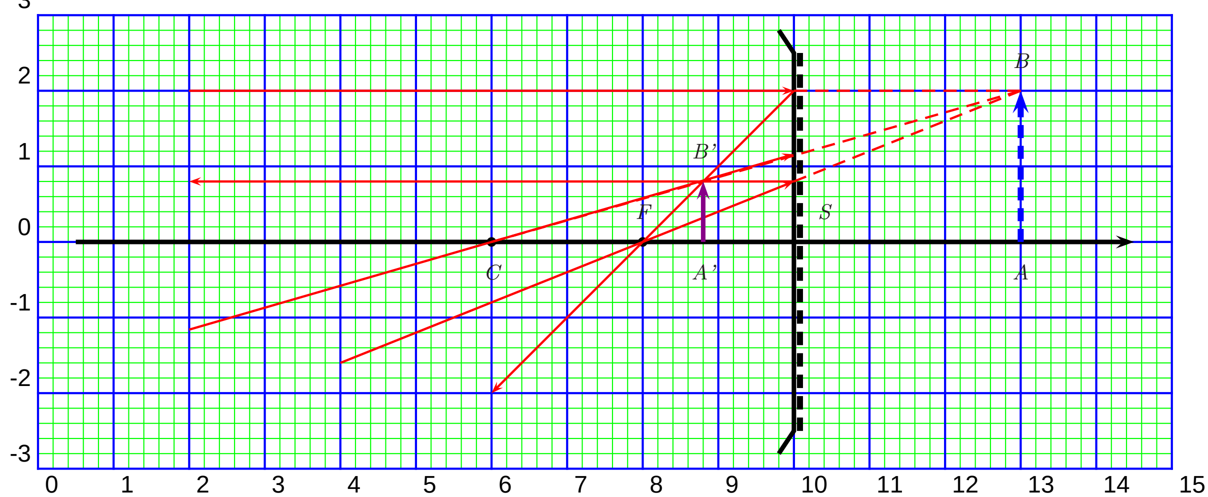
L'image est rejetée à l'infini $\alpha' = \dfrac{AB}{f}$

4. *L'objet est réel entre le plan focal objet et le miroir* $f < \overline{SA} < 0$



L'image est virtuelle droite et plus grande que l'objet

5. *L'objet est virtuel* $0 < \overline{SA} < \infty$



L'image est réelle droite et plus petite que l'objet

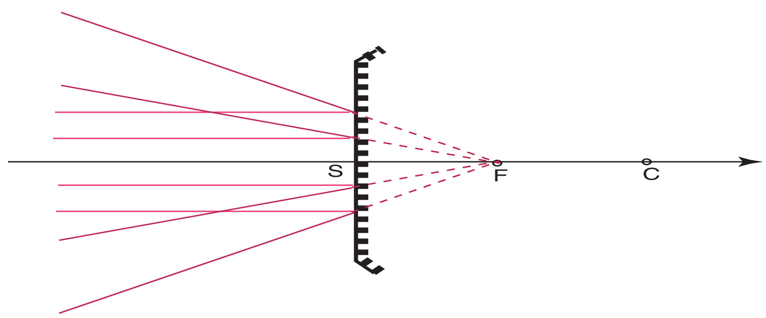
Remarque- 9 :

Le seul cas où l'image est virtuelle correspond à un objet réel entre le plan focal est le miroir sphérique convergent.

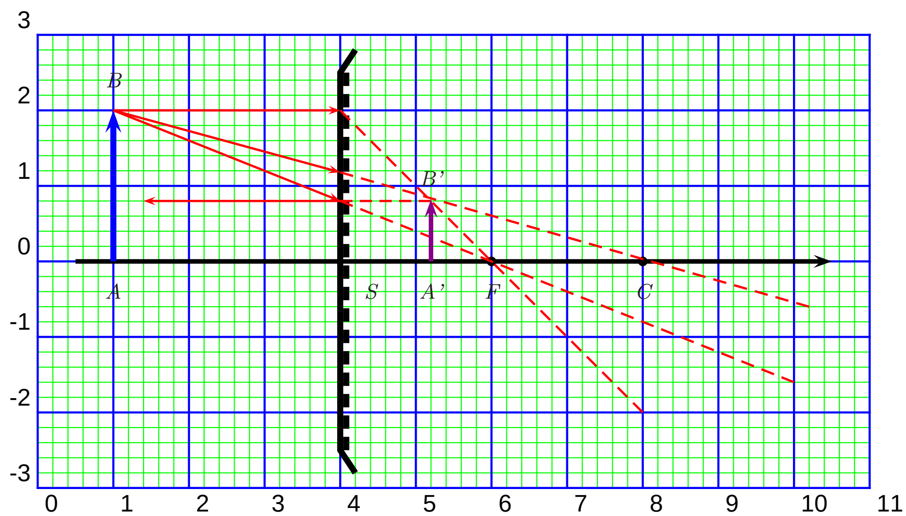
2.4.4.2 Miroirs convexes ou divergents

Dans ce cas $\overline{SC} > 0$ *et la distance focal* $f = \overline{SF} = \overline{SF'} = \dfrac{\overline{SC}}{2} > 0$ *ainsi le foyer F est virtuel.*

Le miroir convexe est divergent en effet :

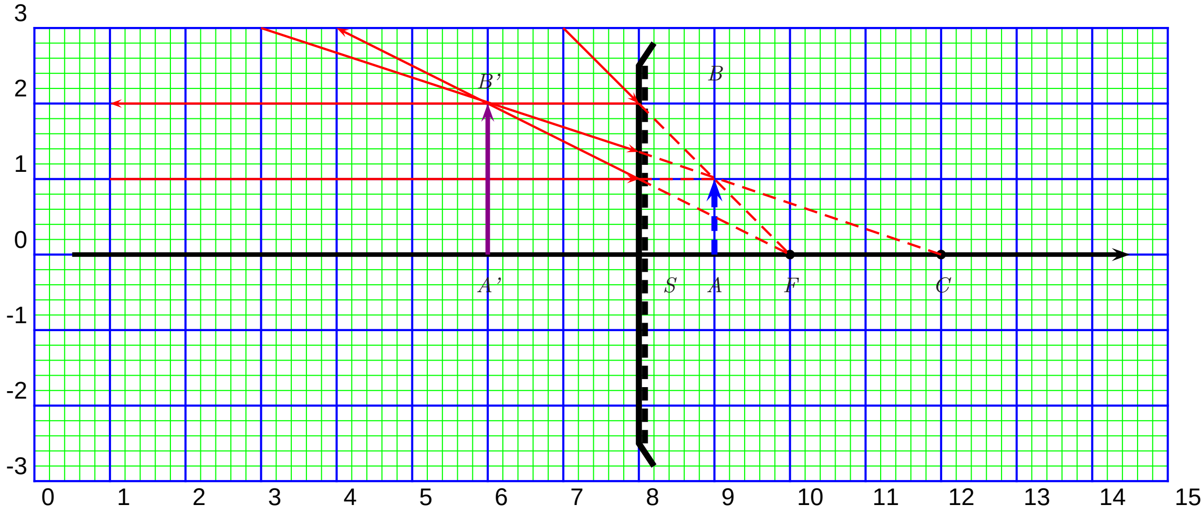


1. *L'objet est réel avec* $\overline{SA} < 0$



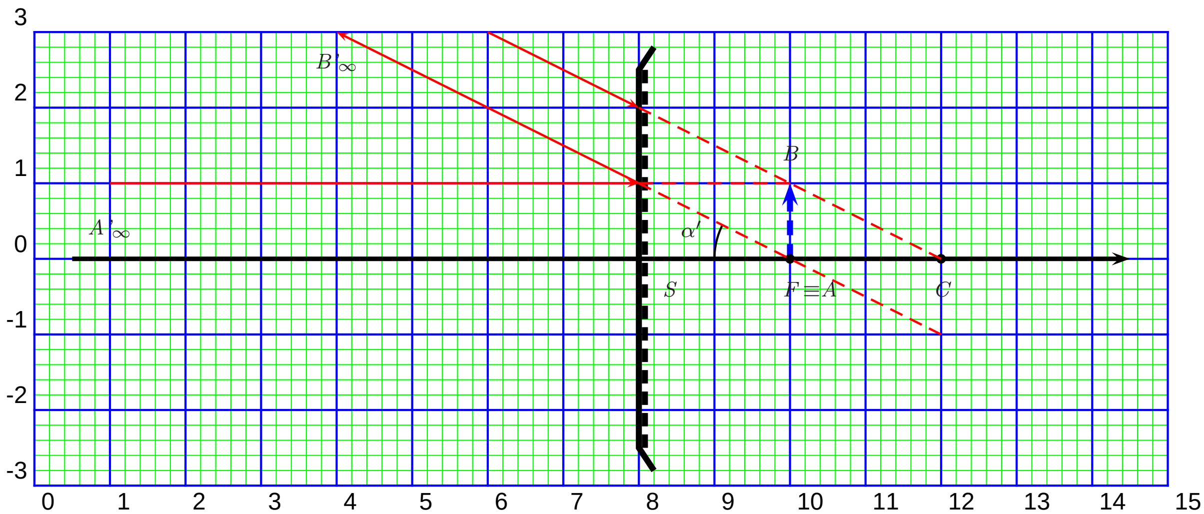
L'image est virtuelle droite et plus petite que l'objet

2. *L'objet est virtuel entre le plan focal et le miroir* $0 < \overline{SA} < f$



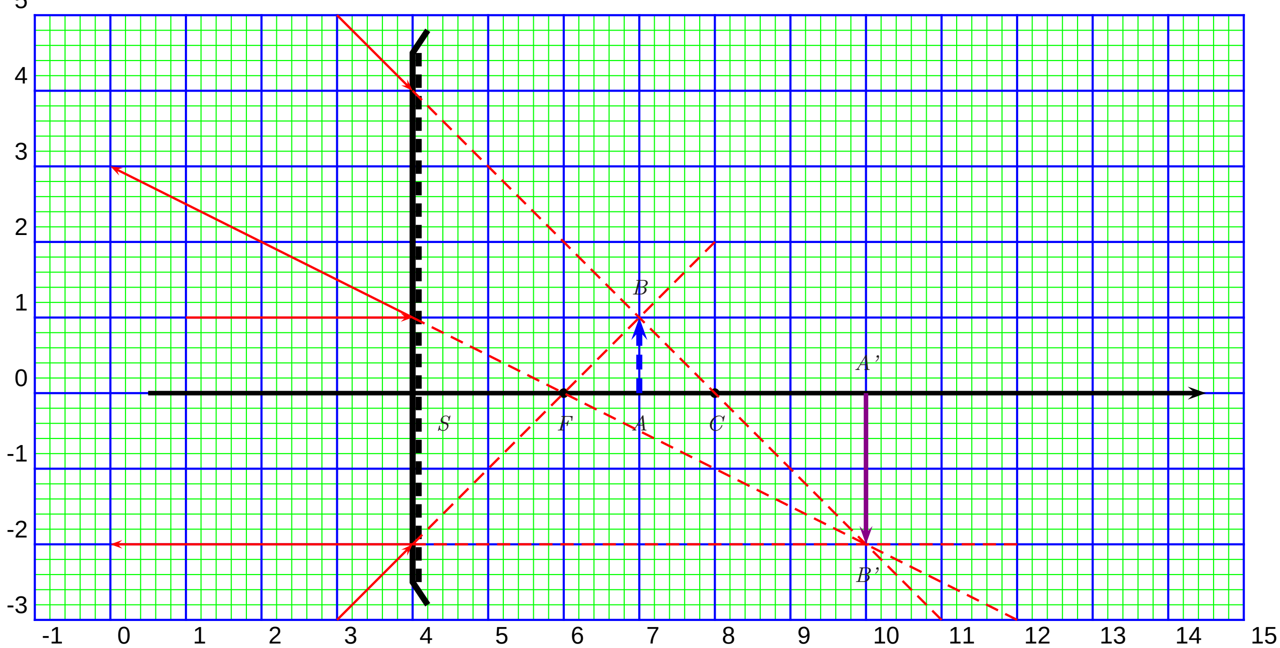
L'image est réelle droite et plus grande que l'objet

3. *L'objet est virtuel dans le plan focal* $\overline{SA} = f$



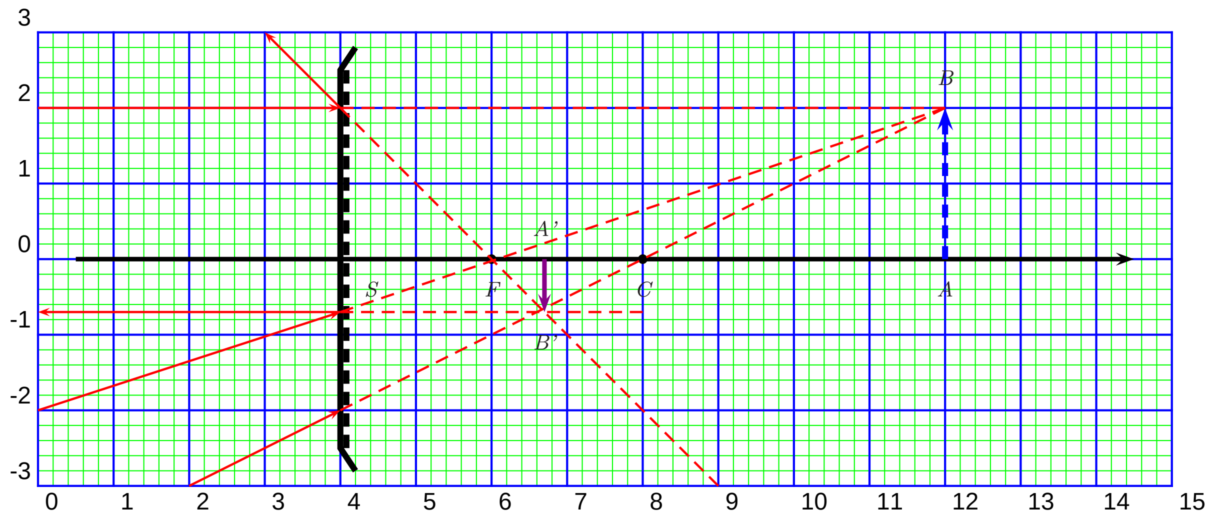
L'image est rejeté à l'infini $\alpha' = \dfrac{AB}{f}$

4. *L'objet est virtuel dans le plan focal* $f < \overline{SA} < 2f$



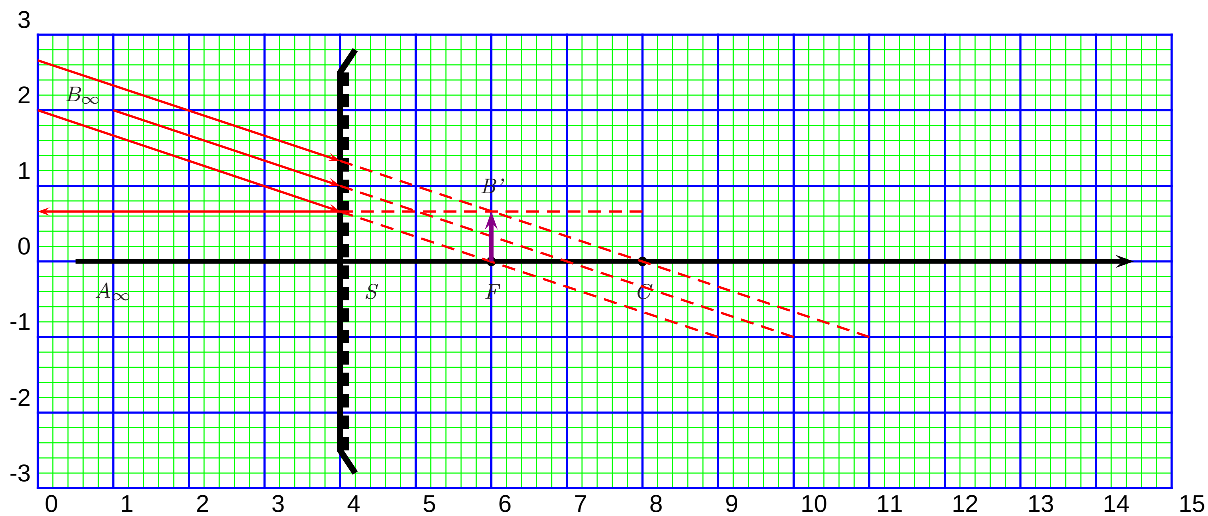
L'image est virtuelle reversée et plus grande que l'objet

5. *L'objet est virtuel* $2f < \overline{SA} < \infty$



L'image est virtuelle reversée et plus petite que l'objet

6. *L'objet est réel rejeté à l'infini* $\overline{SA} = -\infty$



L'image est virtuelle dans le plan focal $\overline{SA} = f$

' : Le miroir plan :
La relation de conjugaison s'écrit :

$$\overline{SA'} = -\overline{SA}$$

C'est à dire :

- *S,A et A' sont alignés*
- *S milieu du segment [A,A']*
- *L'objet et l'image sont de nature différente*

Chapitre 3

TP-COURS D'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

3.1 Notion de rayon lumineux

3.1.1 Présentation des sources lumineuses

La lumière est une onde électromagnétique qui se propage dans le vide à la vitesse $C = 3.10^8\ ms^{-1}$ *et de longueur d'onde* λ *comprise entre* $400\ nm$ *et* $700\ nm$.

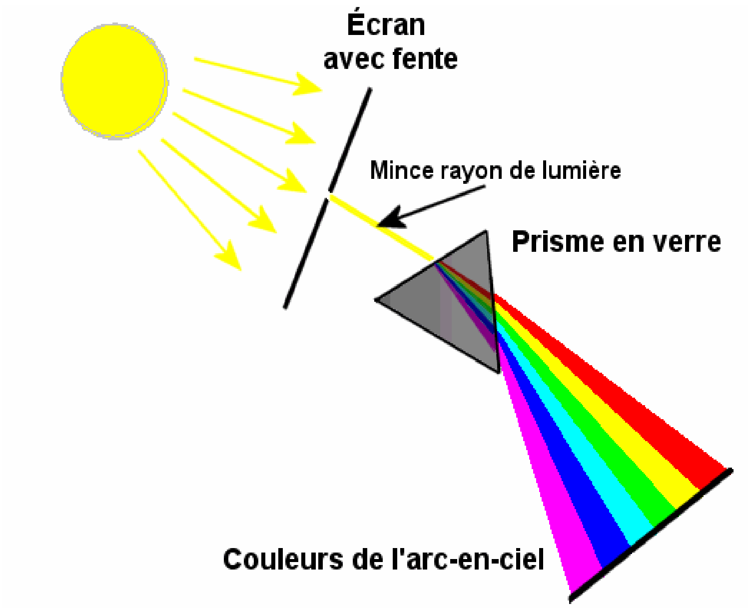
Exemples

Couleur	*violet*	*bleu*	*vert*	*jaune*	*orange*	*rouge*
$\lambda_{moyen}(nm)$	*400*	*470*	*520*	*580*	*600*	*650*

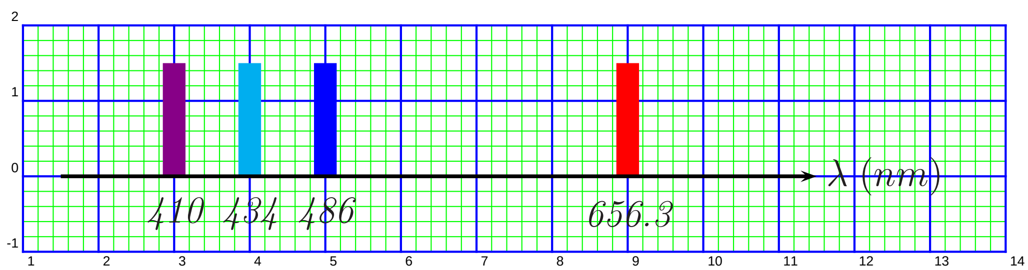
3.1.1.1 Lampes spectrales

Ce sont des sources lumineuses dont le spectre contient plusieurs longueurs d'onde (lumière composé) qu'on peut analyser par un système dispersif (prisme , réseau ,· · ·)

Exemples*1 : l'arc en ciel :*



Exemples2 *: Spectre de l'atome d'hydrogène :*

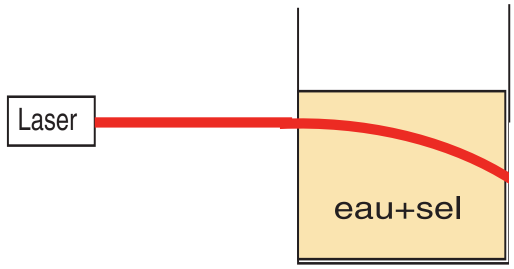


3.1.1.2 Laser

*Laser = **L**ight **A**mplifier by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (amplificateur de lumière par émission stimulée)*
La lumière émise par un laser est une lumière quasi-monochromatique (seul fréquence donc seul longueur d'onde).
*Les lasers à gaz les plus courants sont les lasers Hélium-Néon dont la longueur d'onde est **632,8 nm** (valeur à apprendre par cœur);soit une émission dans le rouge mais il existe des verts , jaunes et oranges.*
Vérification expérimentale *:Laser+ prisme ou réseau $\Longrightarrow$ seul fréquence.*

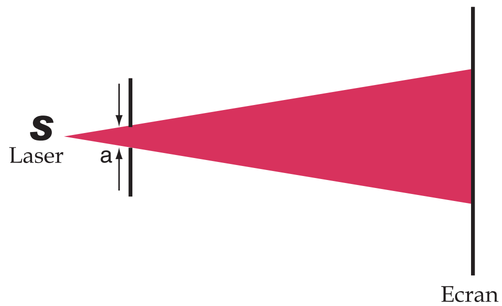
3.1.1.3 Propagation de la lumière

⋆ ***Principe de propagation rectiligne de la lumière***
*Dans un milieu **transparent homogène et isotrope** la lumière se propage en ligne droite; Si le milieu n'est plus homogène (l'indice de réfraction varie) alors la trajectoire n'est plus rectiligne; En effet :*



La trajectoire n'est pas rectiligne puisque le milieu n'est pas homogène
(Il existe un gradient de concentration)

⋆ *Un faisceau lumineux est constitué des rayons lumineux .*
Question : *Est ce qu'on peut isoler un rayon lumineux ?*



⋆ *Si la dimension de l'ouverture* $a \gg \lambda$ *alors l'image est géométrique.*
⋆ *Si la dimension de l'ouverture* $a < 1000\lambda$ *alors on obtient :*

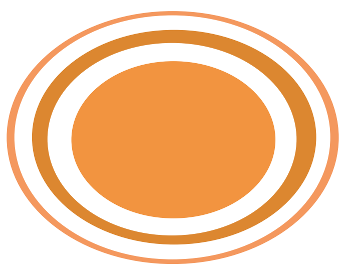


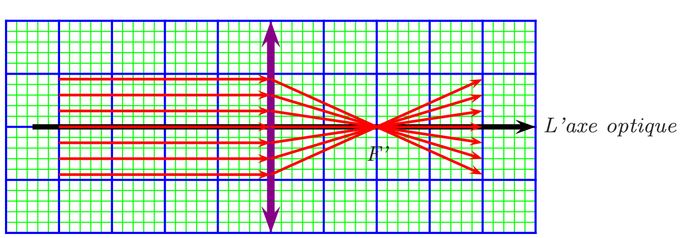
Figure de diffraction
ouverture= trou

Figure de diffraction
Ouverture = fente rectangulaire

C'est le phénomène de la ***diffraction****.*
Donc ***On ne peut pas isoler un rayon lumineux.***

3.1.2 Mise en évidence expérimentales des conditions de Gauss

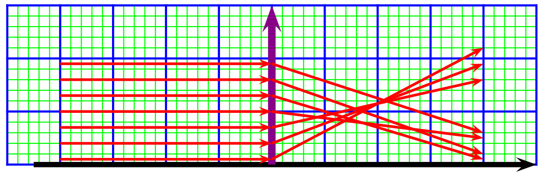
Expérience-1- *:*



Les rayons lumineux passent au voisinage du sommet le foyer image est unique.

Expérience-2- *:*

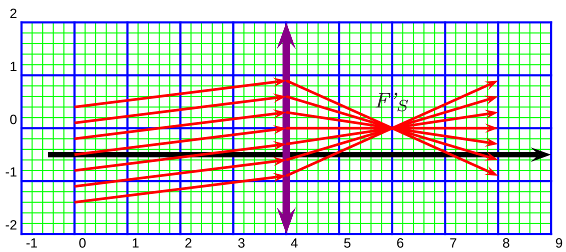
On translate la lentille vers le haut ou vers le bas ; on observe :



On constate que le foyer n'est plus unique.

Expérience-3- *:*

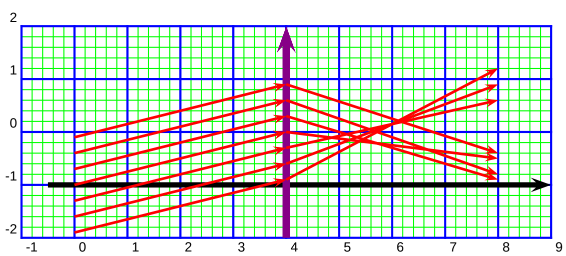
On tourne la source lumineuse (ou la lentille) d'un angle faible ; on observe :



L'angle est faible le foyer image secondaire F'_S est quasi-unique.

Expérience-4- *:*

On tourne la source lumineuse (ou la lentille) d'un angle qui n'est pas faible ; on observe :



L'angle n'est pas faible le foyer image secondaire F'_S n'est pas unique.

D'où les conditions de ***Gauss*** *:Les rayons incidents sont paraxiaux qui passent au voisinage du sommet.*

3.2 Lois de Descartes-Snell

3.2.1 Réflexion

♠ *Le rayon réfléchi se trouve dans le plan d'incidence défini par le rayon incident et la normale $\overrightarrow{N}$.*

♠ *L'angle d'incidence i est égal à l'angle de réflexion r :*

$$i = r$$

3.2.2 Réfraction

♠ *Le rayon réfracté se trouve dans le plan d'incidence défini par le rayon incident et la normale* $\overrightarrow{N}$.

♠ *Quelle relation entre l'angle d'incidence* i_1 *et l'angle de réfraction* i_2 *?*
On fait varier l'angle d'incidence i_1 *et on mesure l'angle de réfraction* i_2 *;on complète le tableau suivant :*

i_1	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
i_2	0	3,5	6,5	10	13	16	19	22,5	25	28	30,5	33	35	37	38,5	40	41
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$	/	1,428	1,53	1,49	1,52	1,53	1,54	1,5	1,52	1,5	1,51	1,5	1,51	1,51	1,51	1,5	1,51

On constate que le rapport $\dfrac{\sin i_1}{\sin i_2}$ *est constant qu'on note* $\mathbf{n}_{2/1} = \dfrac{\mathbf{n}_2}{\mathbf{n}_1}$ *indice de réfraction relatif du milieu (2) par rapport au milieu (1).*
D'où la vérification expérimentale du résultat :

$$\boxed{\mathbf{n}_1 \sin i_1 = \mathbf{n}_2 \sin i_2}$$

Comme $\mathbf{n}_1 = 1$ *et* $\overline{\mathbf{n}} = 1,50$ *alors* $\mathbf{n}_2 = 1,5$

*Remarque- **10** :Détermination rapide de l'indice de réfraction*

▷ :*Réflexion totale*

On détermine l'angle limite de réfraction ,et on applique la relation $\mathbf{n} = \dfrac{1}{\sin \ell}$
A.N : $\ell = 42^o \Longrightarrow \mathbf{n} \simeq 1,5$

▷ :*Méthode avec position fixe du prisme*

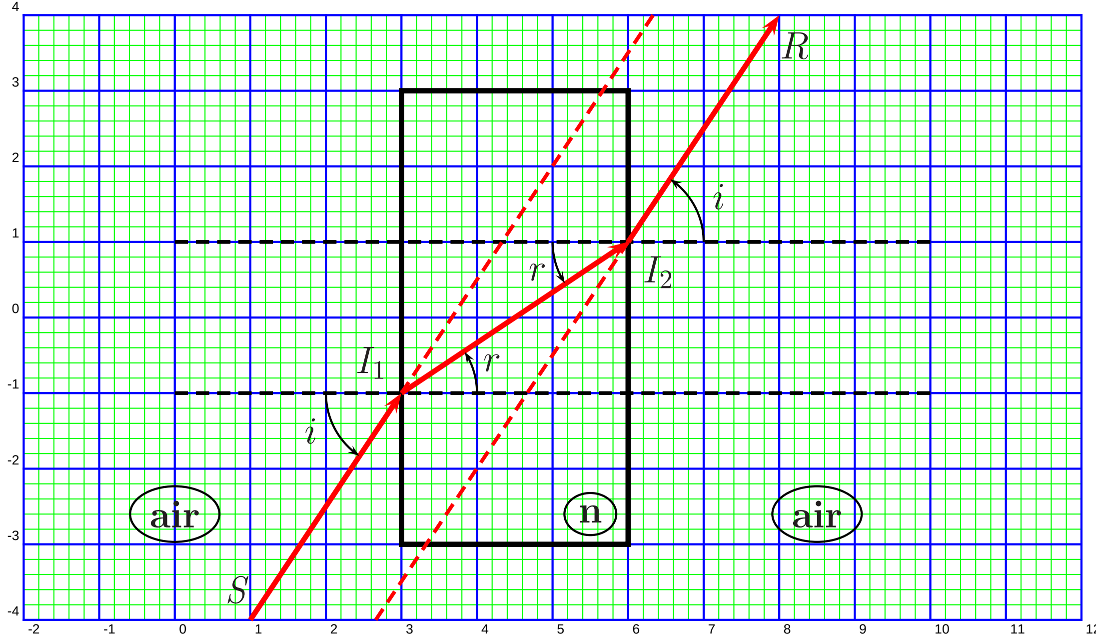
On place le prisme ,d'indice de réfraction n inconnu, dans une position fixe telle que la face d'entrée du prisme se trouve perpendiculaire aux rayons incidents , la relation entre l'indice de réfraction n , l'angle A et la déviation D :

$$\boxed{\mathbf{n} = \frac{\sin(A + D)}{\sin A}}$$

A.N : $A = 30^o$ *et* $D = 18. \Longrightarrow \mathbf{n} \simeq 1,49$

▷ *Lame à faces parallèles*

Soit une lame à faces parallèles d'épaisseur e et d'indice de réfraction $\mathbf{n}$ *plongé dans l'air.*



▶ *Les rayons SI_1 et I_2R ont même pente* $(\tan i\ )$ *donc les rayons incident et émergeant sont parallèles.Par conséquent les deux rayons sont translatés d'une distance d*

▶ $\sin i = \mathbf{n}\sin r \Longrightarrow r = \arcsin(\frac{1}{\mathbf{n}}\sin i)$

▶ *On a* $\cos r = \frac{e}{I_1I_2} \Longrightarrow I_1I_2 = \frac{e}{\cos r}$

De même :$\sin(i-r) = \frac{d}{I_1I_2} \Longrightarrow d = \frac{e}{\cos r}\sin(i-r)$

$$d = e\frac{\sin(i - \arcsin(\frac{1}{\mathbf{n}}\sin i))}{\cos(\arcsin(\frac{1}{\mathbf{n}}\sin i))}$$

▶ *Pour i faible alors*

$$d = \frac{\mathbf{n}-1}{\mathbf{n}}ei$$

▶ *Si* $e \to 0$ *et* $i \to 0$ *alors* $d \to 0$ *:C'est à dire les rayons I_2R et SI_2 sont confondus (autrement dit $I_1 \equiv I_2$) :**Le rayon incident n'est pas dévié***

3.3 Lentilles sphériques minces

3.3.1 Identification des lentilles minces

3.3.1.1 Par simple lecture

▷ $f' > 0 \Longrightarrow$ *lentille convergente, à l'opposée d'une lentille divergente, a une distance focale image (ou simplement une focale) positive* $f' > 0$.

3.3.1.2 Au toucher par biais d'un papier

Une lentille convergente, contrairement à une lentille divergente a des bords minces et un ventre épais.

Remarque- ***11*** *Ne jamais toucher le verre des lentilles par les doigts*

3.3.1.3 À l'œil

1. *On observe un objet lointain à travers la lentille :*
   ▶ *L'image inversé pour une lentille Convergente.*
   ▶ *L'image droite pour une lentille divergente.*
   Application :*Pour les myopes (problème de vision de loin) la correction se fait par des lunettes divergentes*
2. *En regardant un objet proche à travers une lentille convergente l'image apparaît plus grande et se déplace dans le sens inverse au déplacement latérale de la lentille. Pour une lentille divergente c'est le contraire.*

3.3.2 Formation de l'image

On forme l'image d'un objet (lettre P) à travers une lentille convergente .
L'image doit être nette et claire sur l'écran , pas de pénombre qui entoure l'image géométrique

3.3.3 Relations de conjugaison

3.3.3.1 Relation de conjugaison de Newton

Soit une lentille convergente qui baigne dans l'air.
On vérifie que $\overline{F'A'}.\overline{FA} = f.f'$ *et puisque* $f = -f'$ *alors* $\overline{F'A'}.\overline{FA} = -f'^2$
On forme l'image d'un objet distant d'une distance $d = 42$ *cm d'une lentille convergente de focale* $f' = +20$ *cm ;on trouve que* $\overline{OA'} = 112 - 72 = 40$ *cm*

On déduit que : $\overline{F'A'} = +20cm$; $\overline{FA} = -22\ cm$
Donc

$$\boxed{\overline{F'A'}.\overline{FA} = f.f'}$$

*la relation de conjugaison de **Newton** est bien vérifiée*

3.3.3.2 Relation de conjugaison de Descartes-Snell

On rappelle que :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

On fait varier la distance objet-lentille et on remplit le tableau suivant :

$\overline{OA}(cm)$	$\overline{OA'}(cm)$	$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}(cm^{-1})$	$f'(cm)$
-30	57	0,050877	19,65
-40	39	0,05064	19,75
-50	32,5	0,05077	19,7
-60	28,2	0,05213	19,18
-70	26,4	0,05216	19

On constate que $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$ *est une constante indépendante de la position de l'objet par rapport à la lentille et que cette valeur ce n'est autre que l'inverse de la focale de la lentille.*
Conclusion *: La relation de conjugaison de **Descartes-Snell** est vérifiée.*

3.3.4 Notion sur les aberrations géométriques :

On appelle aberration géométrique tout défaut du système par rapport aux lois de l'optique géométrique.
On distingue les aberrations chromatiques qui correspondent à la variation de la conjugaison objet-image avec la longueur d'onde (ceci étant du au caractère dispersif des matériaux employés dans les instruments d'optique) et les aberrations géométriques dues au fait que les conditions de Gauss de l'optique paraxiale ne peuvent être assurées exactement.

3.3.4.1 Les aberrations chromatiques

Les corps transparents utilisés en optique sont dispersifs. Leur indice dépend de la longueur d'onde dans le vide de la lumière utilisée.

On définit le pouvoir dispersif d'un corps transparent par la relation conventionnelle :

$$\nu = \frac{\mathbf{n}_D - 1}{\mathbf{n}_F - \mathbf{n}_C}$$

où $\mathbf{n}_C, \mathbf{n}_D$ *et* $\mathbf{n}_F$ *mesurent les indices du verre relativement :*

- *À la raie C rouge de l'hydrogène correspondant à* λ *(C) = 656,3 nm.*
- *À la raie D jaune du sodium correspondant à* λ*(D) = 587,6 nm.*
- *À la raie F bleue -verte de l'hydrogène correspondant à* λ*(F) = 486,1 nm.*

Remarque- 12 *: Plus* $\mathbf{n}_F - \mathbf{n}_C$ *est grande plus* ν *est petite plus le corps transparent est dispersif*

Tableau des valeurs de ν_d

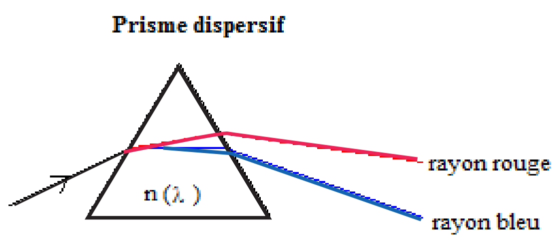
Corps	$\mathbf{n}_d$	$\mathbf{n}_F - \mathbf{n}_C$	ν
Aniline	*1,5863*	*0,0248*	*20,3*
Alcool éthylique	*1,361*	*0,0062*	*58,3*
Alcool méthylique	*1,329 0*	*0,0050*	*65,8*
Benzène	*1,501*	*4 0,0166*	*30,2*
Bromonaphtalène	*1,658 2*	*0,0325*	*20,3*
Chloroforme	*1,447 2*	*0,0089*	*50,2*
Eau pure	*1,333 0*	*0,006 0*	*55,5*
Éther ordinaire	*1,353 8*	*0,0061*	*58,0*
Sulfure de carbone	*1,627 6*	*0,034 2*	*18,4*
Fluor crown	*1,487 3*	*0,006 9*	*70,4*
Borosilicate crown	*1,516 8*	*0,008 1*	*64,1*
Crown	*1,518 2*	*0,008 6*	*60,1*
Baryum crown léger	*1,568 8*	*0,010 2*	*56,0*
Baryum crown dense	*1,620 4*	*0,010 3*	*60,3*
Crown haute dispersion	*1,529 0*	*0,010 2*	*51,8*
Baryum crown très dense	*1,622 5*	*0,011 7*	*53,1*
Flint extraléger	*1,548 1*	*0,012 0*	*45,7*
Flint baryte	*1,647 8*	*0,014 0*	*46,2*
Flint léger	*1,581 4*	*0,014 3*	*40,8*
Flint dense	*1,620 0*	*0,017 1*	*36,3*
Flint baryte dense	*1,701 8*	*0,017 1*	*41,1*
Flint très dense	*1,667 0*	*0,020 2*	*33,1*
Flint extradense	*1,740 0*	*0,026 3*	*28,1*
Diamant	*2,417 3*	*0,025 7*	*55,1*
Fluorine	*1,433 8*	*0,004 5*	*96,4*
Glace de lŠeau	*1,310 0*	*0,006 1*	*50,8*
Phosphore	*2,144 0*	*0,065 0*	*17,6*
Quartz	*1,550 0*	*0,007 9*	*69,6*
Sel gemme	*1,544 3*	*0,012 7*	*42,9*
Silice fondue	*1,458 5*	*0,006 8*	*67,4*
Verre ordinaire	*1,520 0*	*0,008 5*	*61,2*

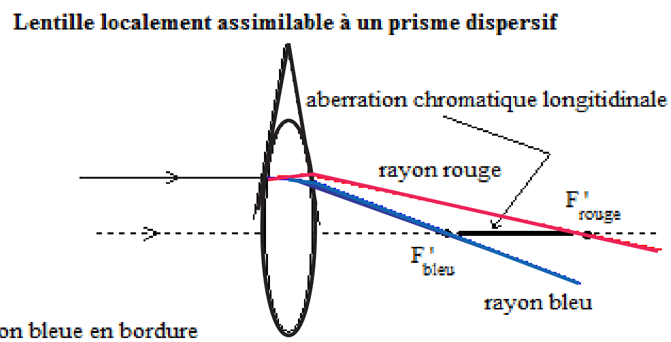
Sachant que la focale algébrique d'une lentille mince est donnée par

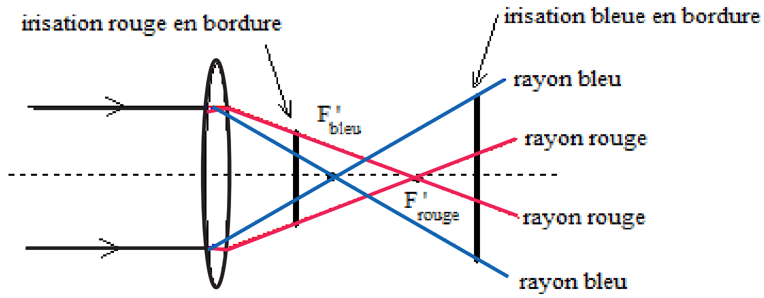
$$\frac{1}{f'} = (\mathbf{n} - 1)(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2})$$

Avec R_1 et R_2 les rayons de courbure des faces d'entrée et de sortie ; on voit apparaître des aberrations.
On vérifie que :

$$|\Delta f'| = \frac{|f'|}{\mathbf{n}-1}|\Delta \mathbf{n}|$$

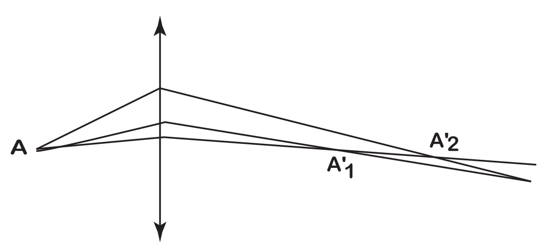






3.3.4.2 Les aberrations géométriques

Avec des rayons loin de l'axe et des inclinaisons sur l'axe importantes, les conditions de Gauss ne sont plus remplies. et le foyer n'est plus unique.



3.4 Miroirs sphériques

Voir Projection

3.5 Les instruments optiques

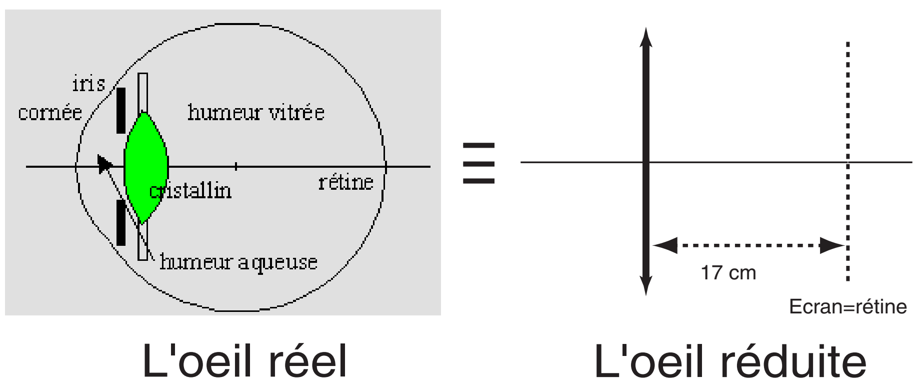
3.5.1 L'œil

• *L'œil est un système optique complexe, un rayon lumineux qui pénètre dans l'œil travers successivement un dioptre sphérique d'entrée (la cornée dont*

n=*1,38) suivi de l'humeur aqueuse dont l'indice est voisin de 1,336. Un diaphragme (l'iris) précède le cristallin qui se comporte comme une lentille biconvexe. Il a une structure en couches et des ligaments situés en périphérie modifient à la fois sa courbure et son indice. L'indice moyen du cristallin est voisin de 1,420. On trouve ensuite l'humeur vitrée d'indice égal à 1,336 puis la rétine sur laquelle se forme l'image. La rétine est composée de diverses couches de faibles épaisseurs (10 à 40 µm). Une couche est composée de cônes et de bâtonnets qui permettent la perception des couleurs. Le point de raccordement de la rétine avec le nerf optique est dépourvu de récepteurs : c'est une* ***zone aveugle****.*

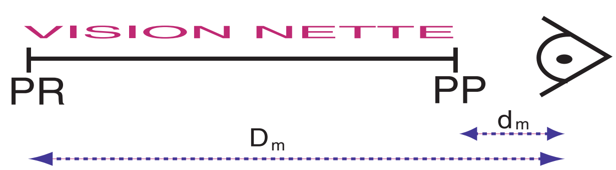
• *Les muscle entourant le cristallin permettent de modifier sa courbure ce qui fait de l'œil un système optique à distance focale variable.*

• ***On modilise l'œil par une lentille convergente projetant une image réelle sur un écran (rétine situé à 17 mm du centre optique) :c'est l'œil réduite***



• *Un œil au repos voit nettement à une distance* D_m *correspond au* ***Ponctum Remotum PR***

• *En accommodant (l'œil augmente la vergence, le cristallin est bombé) le* ***Ponctum Proximum PP*** *correspond à la distance minimale de vision distincte .*



• ***Pour un œil normal*** :$D_m \to \infty; d_m = 25\ cm$

Soit $P_{PP}(P_{PR})$ *la puissance intrinsèque de l'œil normal au PP (PR) :*

$\star\ A \to \infty \Longrightarrow A' \equiv F' : \overline{OA'} = f' = 1,7\ cm$

$$P_{PR} = 58,82\ \delta$$

⋆ *Si* $\overline{OA} = -d_m \Longrightarrow f' = \dfrac{\overline{OA'}.d_m}{\overline{OA'} + d_m}$ *A.N* $f' = 1,53\ mm$ *alors* $P_{PP} = \dfrac{1}{f'} = \dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{d_m}$

$$P_{PP} = 62,82\ \delta$$

⋆ *On appelle le* ***pouvoir d'accommodation*** $P_{PP} - P_{PR}$
Pour un œil normal

$$P_{PP} - P_{PR} = 4\delta$$

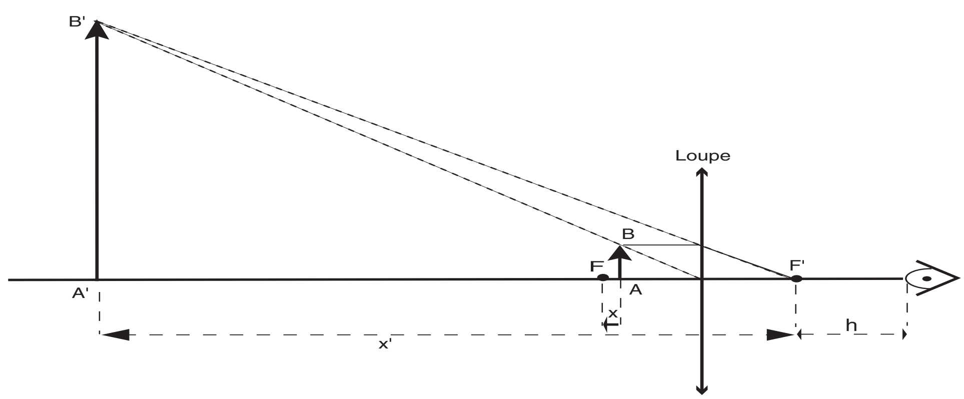
Remarque- 13 :

▶ *L'œil ne distingue deux détails différents de l'objet que si* ***leur image se forme sur deux cellules différentes de la rétine*** *,Dans les bonnes conditions d'éclairage ,l'œil distingue des détails d'environ* 3.10^{-4} *rad soit une minute d'arc*

▶ *À fin d'éviter toute fatigue de l'œil l'objet doit être rejeter à l'infini pour un œil normal (emmétrope)*

3.5.2 La loupe

C'est une lentille convergente, donne une image droite agrandie et virtuelle si l'objet est situé entre la lentille et son foyer objet F.



On définit :

• ***La vergence ou la puissance intrinsèque***

$$\mathcal{P}_i = V = \frac{1}{f'}$$

⋆ *C'est une caractéristique intrinsèque de la lentille, elle ne dépend ni de la position de l'objet ni de la position de l'image*

⋆ *Si f' en (m) alors $\mathcal{P}$ en dioptrie (δ)*

• ***La puissance***

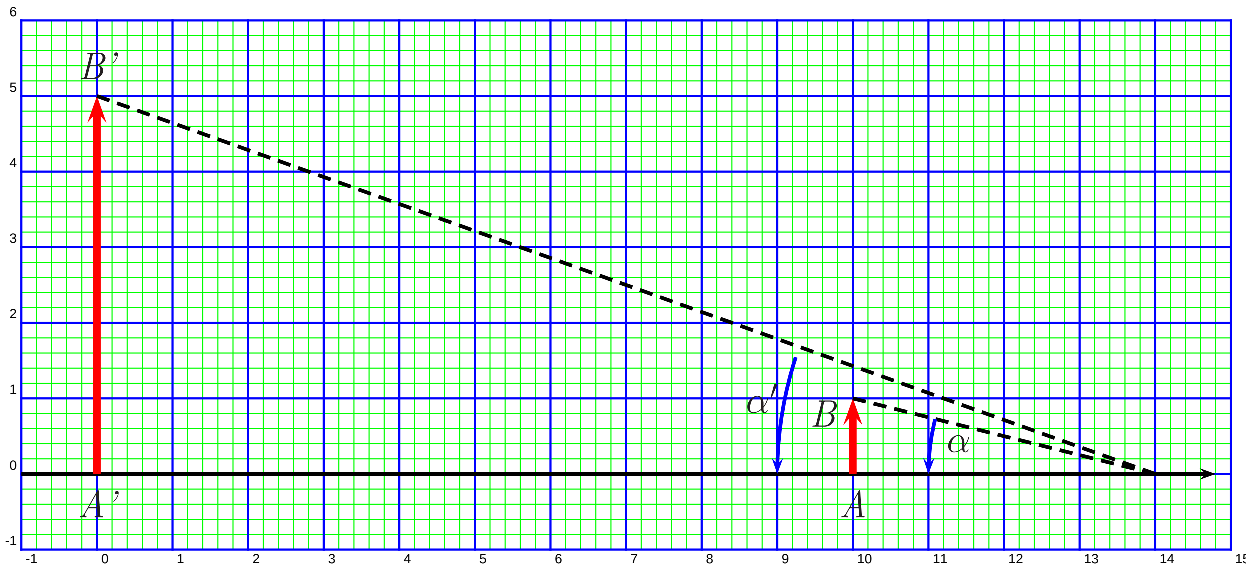
$$\mathcal{P} = \left|\frac{\alpha'}{AB}\right|$$

*L'unité de la puissance est le **dioptrie** si les distances en (m) et les angles en (radian)*

▶ *AB la taille de l'objet .*

▶ *α' le diamètre angulaire sous lequel est vue l'image $A'B'$ à travers l'instrument optique.*

• ***Le grossissement***



$$\mathcal{G} = \left|\frac{\alpha'}{\alpha}\right|$$

sans unité

▶ *α le diamètre angulaire sous lequel est vue l'objet ABà l'œil nu .*

▶ *α' le diamètre angulaire sous lequel est vue l'image $A'B'$ à travers l'instrument optique.*

Remarque : Profondeur de champ du système œil-loupe

Pour l'œil, l'image donnée par la loupe doit être entre le PP à une distance d_m de l'œil ,et le PR situé à une distance D_m
Soit f' la distance focale image da la lentille , h la distance œil-foyer image de la loupe et x la distance algébrique objet-foyer .(voir figure précédente)

QUESTION

Quelles sont les positions de l'objet pour que l'œil voit l'image nette ?
La relation de conjugaison avec origine aux foyers (formule de NEWTON) :
$\overline{FA}.\overline{F'A'} = -f'^2$ *donne :*

▶ *Au PP :*

$$(-x).(d_m - h) = -f'2 \Longrightarrow x_{PP} = -\frac{f'^2}{d_m - h}$$

▶ *Au PR :*

$$(-x).(D_m - h) = -f'2 \Longrightarrow x_{PR} = -\frac{f'^2}{D_m - h}$$

$$x \in \Big[\frac{f'^2}{D_m - h}, \frac{f'^2}{d_m - h}\Big]$$

à condition que $h < d_m$
Pour $h = 0$ *(l'œil au foyer image de la loupe) le domaine devient :*

$$x \in \Big[\frac{f'^2}{D_m}, \frac{f'^2}{d_m}\Big]$$

La profondeur de champ est alors :

$$\Delta p = f'^2\Big(\frac{1}{d_m} - \frac{1}{D_m}\Big) \approx \frac{f'^2}{d_m}$$

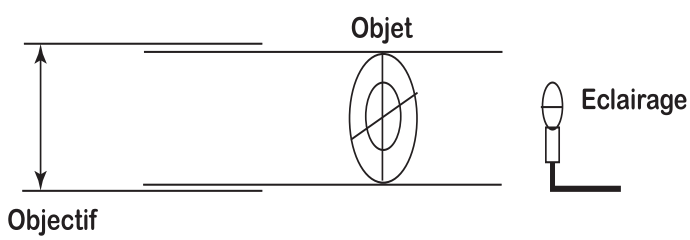
CONCLUSION : La profondeur de champ est d'autant plus faible que la distance focale image est petite

3.5.3 Le collimateur

Le collimateur est un instrument optique qui sert à fabriquer un ***objet à l'infini****,il est constitué de deux tubes :*

▶ *Un tube contient une lentille convergente .*

▶ *Un tube contient un objet (une fente source de largeur réglable ou une croix ou une mire sur un dépoli ou une réticule graduée)*



Pour régler le collimateur ,il suffit d'amener l'objet dans le plan focal objet de la lentille en faisant coulisser l'un des tubes par rapport à l'autre

3.5.4 Lunette afocale et autocollimatrice

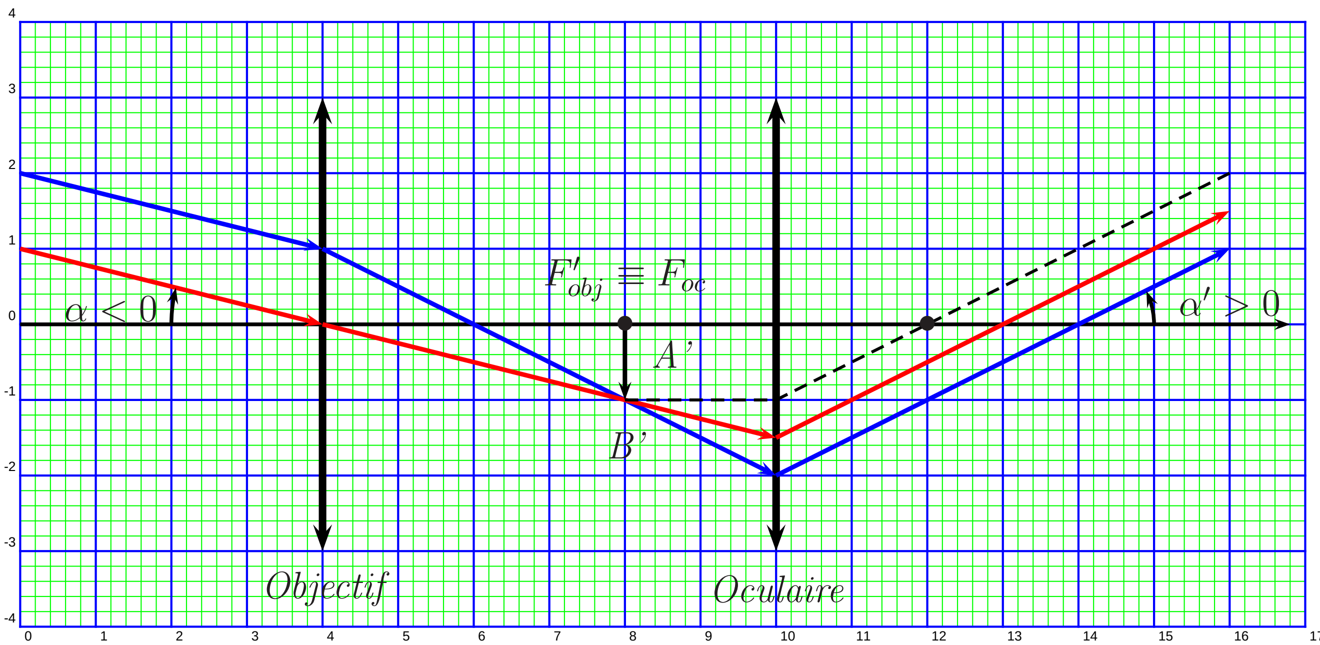
3.5.4.1 Lunette afocale

▶ *Elle donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.*

▶ *Elle est constituée d'un objectif (modélisé par une lentille convergente) de focale f'_{obj} et d'une oculaire (modélisé par une lentille convergente) de focale f'_{ocu}*

▶ *La lunette est réglée à l'infini si le foyer objet de l'oculaire est confondu avec le foyer image de l'objectif*

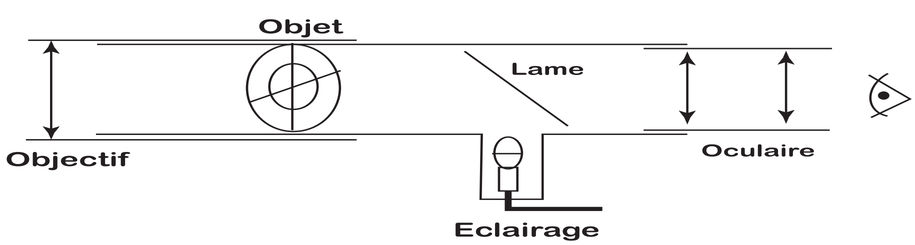
$$\text{Lunette afocale} \Longleftrightarrow F_{oc} \equiv F'_{obj}$$



Le grossissement de la lunette afocale est :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}} \ (< 0)$$

3.5.4.2 Lunette autocollimatrice



▶ *Elle sert de fabriquer un objet à l'infini et de le voir sans accommodation pour un œil emmétrope.*

▶ *Elle dispose d'une ampoule (éclairage) et d'une lame semi-réfléchissante dans le tube intermédiaire qui sert à réfléchir une fraction de la lumière et laisse passer l'autre fraction*

▶ *L'ampoule éclaire l'objet qui peut être toujours vu puisque la lame est semi-réfléchissante.*

Remarque- 14 :
À fin de régler la lunette autocollimatrice on place un miroir plan devant l'objectif et on fait varier la distance objectif-objet jusqu'à avoir une image identique à l'objet mais inversée (méthode autocollimation (voir TP Focométrie))

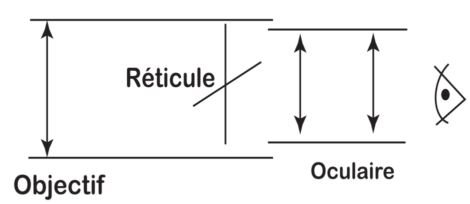
3.5.5 Le viseur ou lunette à frontale fixe

Le viseur est une lunette donnant d'un objet à distance finie une image à l'infini.
On transforme une lunette afocale en viseur :

▶ *On rend l'objectif plus convergent en ajoutant une lentille convergente supplémentaire appelée* ***bonnette***

▶ *On éloigne l'objectif du plan du réticule où se forme l'image.*

Le viseur est constitué de deux tubes : un contient l'objectif et le réticule et l'autre l'oculaire.
Si la distance objectif-réticule est fixe , on parle d'un viseur ou lunette à frontale fixe.



Pour régler le viseur il suffit de régler l'oculaire de manière à voir net le réticule puis déplacer le viseur sur le banc optique jusqu'à voir net l'objet visé

Remarque- 15 :
Puisque la distance objectif-image est constante alors la distance objet-viseur est constante

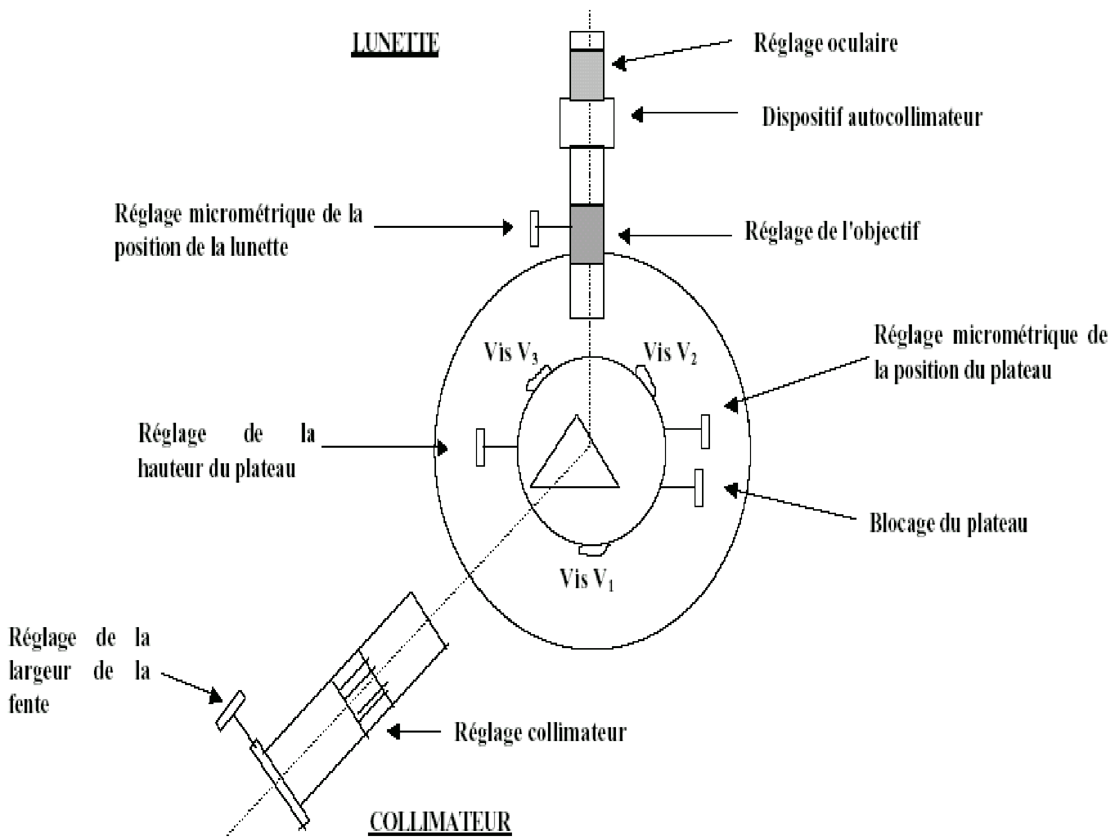
3.6 Le goniomètre à prisme

3.6.1 Description

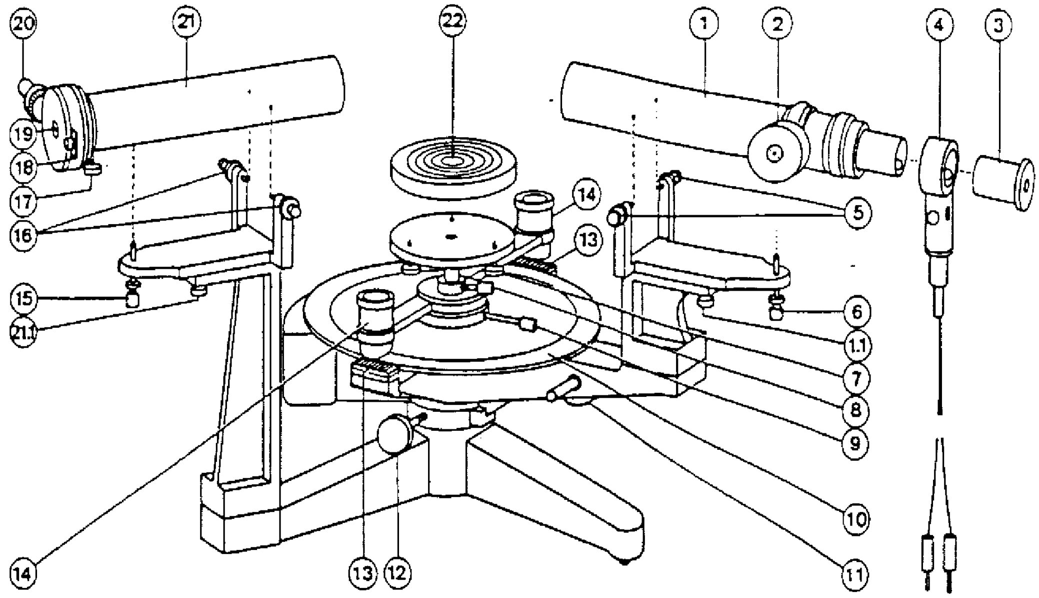
Description :



VUE DE DESSUS :



3.6.2 Réglage du goniomètre



(1) Lunette
(1.1) Vis d'ajustage pour compensation des défauts d'alignement
(2) Vis de réglage de netteté
(3) Oculaire de Gauss coulissant
(4) Dispositif d'éclairage
(5) Vis d'ajustage pour décalage latéral de la lunette
(6) Vis de réglage en hauteur de la lunette (1) blocable
(7) Vis calante de l'embase du prisme
(8) Vis de blocage de l'embase du prisme
(9) Vis de blocage du disque gradué
(10) Disque gradué
(11) Réglage fin de la rotation de la lunette
(12) Vis de blocage de la lunette (1)
(13) Verniers
(14) Loupes
(15) Vis de réglage en hauteur du collimateur
(16) Vis d'ajustage pour décalage latéral du collimateur (21)
(17) Vis de blocage du coulisseau porte- fente
(18) Limitateur de fente réglable
(19) Fente réglable
(20) Vis micrométrique de réglage de la largeur de la fente
(21) Collimateur
(21.1)Vis d'ajustage pour compensation des défauts d'alignement
(22) Embase du prisme

Description, caractéristiques techniques :

Lunette :
distance focale $f = 160$ mm ; ouverture de 16 mm ; oculaire de Gauss avec réticule éclairé ; netteté réglable par vis moletée ; rotation libre par rapport à l'axe de l'appareil.

Collimateur :
- *distance focale f =160 mm*
- *ouverture de 16 mm.*
- *coulisseau porte-fente.*
- *Fente : largeur réglable par vis micrométrique.*
- *Disque gradué : diamètre de 180 mm ; graduation en degrés et en demi-degrés ; rotation libre par rapport à l'axe de l'appareil.*

Verniers :
2 verniers à graduation 0 - 30 pour lecture sur disque gradué,diamétralement opposés, avec loupes Dispositif d'éclairage du réticule : lampe de 8V/0,l5 A.

Réglage de l'appareil

Sachant que :

▶ ***Le collimateur** :*
*Constitué par une fente verticale F de largeur variable **placée au foyer d'une lentille convergente**. Cette fente peut être rapprochée ou éloignée de l'objectif . Elle est éclairée par une lampe à vapeur métallique (exemple Na, Hg Cd).*

▶ ***La lunette** :*
Elle est mobile autour de l'axe du goniomètre (rotation rapide lorsque (12) est débloquée ; rotation lente, lorsque (12) étant bloquée on tourne (11)). La vis (6) permet la mobilité de la lunette autour d'un axe horizontal. (3) coulisse afin de mettre au point l'oculaire sur le réticule, (2) permet le réglage de la distance objectif-oculaire

1 - Réglage de la lunette

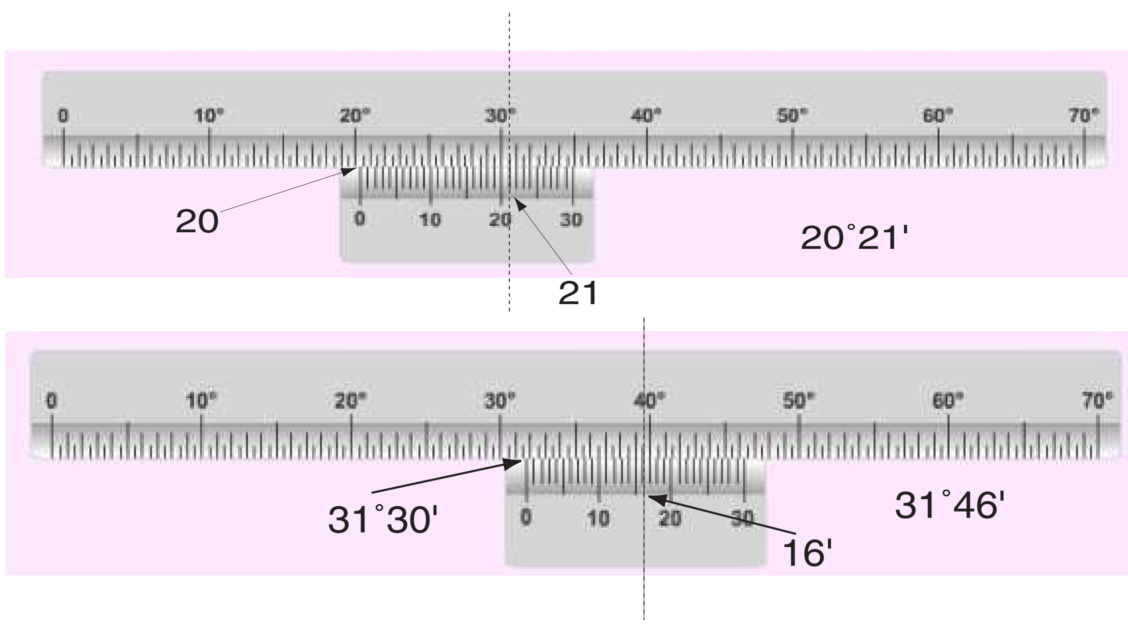
Mettre en marche le dispositif d'éclairage (4) du réticule.
Pour commencer, déplacer l'oculaire (3) jusqu'à voir nettement le réticule. Les rayons lumineux provenant du réticule, éclairé par un dispositif latéral, traversent l'objectif et sont réfléchis par une des faces du prisme.
Orienter correctement le prisme en tournant lentement l'embase jusqu'à voir le faisceau réfléchi dans le champ de la lunette (apparence d'un disque éclairé). Bloquer l'embase.
Régler le tirage de la lunette avec la vis (2), jusqu'à voir nettement le réticule

et son image.
Le réticule est alors au foyer de l'objectif de la lunette.
Si le collimateur fournit un faisceau parallèle issu de la fente F, l'image de F se formera au foyer de l'objectif de la lunette et sera donc nette en même temps que le réticule.

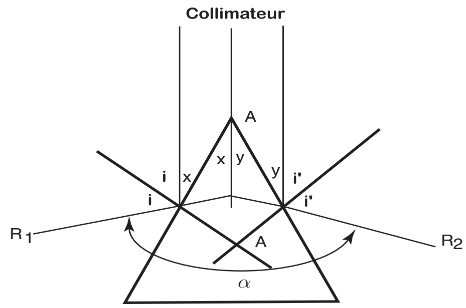
2 - Réglage du collimateur

Le collimateur doit fournir un faisceau parallèle, il faut pour cela que la fente F soit au foyer du collimateur.
Éteindre l'éclairage du réticule. Enlever le prisme de l'embase.
Éclairer la fente source à l'aide d'une lampe au Mercure-Cadmium (qui aura chauffée quelques minutes avant le début du réglage) puis ajuster la position de F en faisant coulisser le porte-fente, de manière à voir son image nette dans la lunette. Veiller à ce que la fente soit parallèle à l'arrête du prisme. Bloquer la vis (17). Obtenir une fente aussi fine que possible à l'aide de (20).

3 - Lecteur sur le goniomètre



3.6.3 Mesure de l'ongle au sommet



On éclaire le prisme par un faisceau parallèle (collimateur) et on détermine les positions des angles correspondant aux rayons réfléchis par les deux faces on trouve :

$$R_1 = 92^o 45' \quad et \quad R_2 = 212^o 50'$$

Question :*Quelle relation entre l'angle au sommet A et les angles R_1 et R_2 ?*
On a $A = x + y$ et $\alpha = |R_2 - R_1|$ ainsi $(\frac{\pi}{2} - x) + \alpha + (\frac{\pi}{2} - y) + \pi - A = 2\pi$ on tire que

$$A = \frac{\alpha}{2} = \frac{|R_2 - R_1|}{2}$$

A.N

$$A = 60^o\ 2'\ 30"$$

3.6.4 Mesure de l'indice de réfraction du prisme :Loi de Cauchy

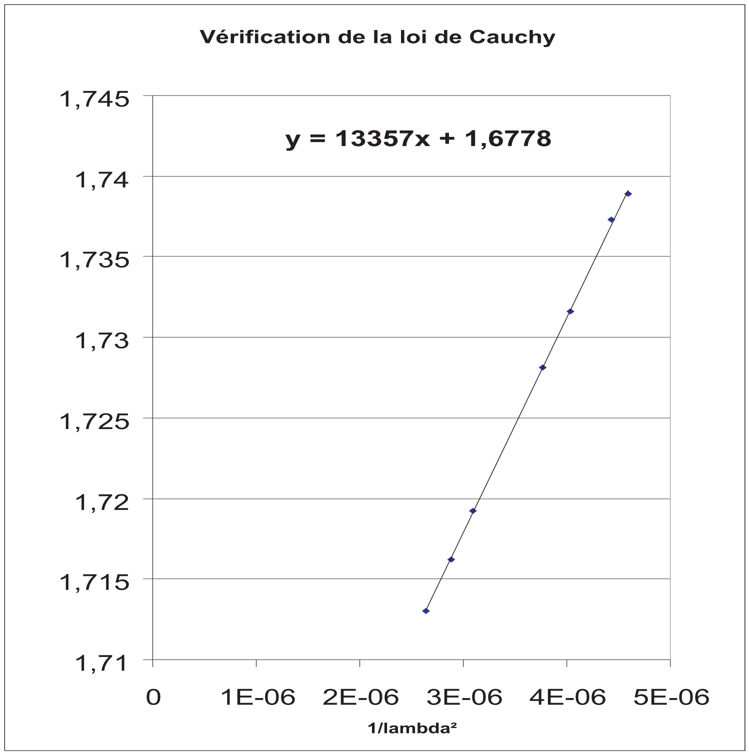
Soit D_m l'angle de déviation lorsque $i = i'$ (au minimum de déviation)
On rappelle que

$$n = \frac{\sin(\frac{D_m + A}{2})}{\sin\frac{A}{2}}$$

On éclaire le goniomètre par une lampe spectrale de sodium et on complète le tableau suivant avec $A = 60^o\ 2'\ 30"$:

Couleur	λ (nm)	**Intensité**	R_1	R_2	D_m	$\frac{1}{\lambda^2}$	n
Rouge	615,7	intense	92º 30'	208º 22'	57,93333333	2,63792.10^{-6}	1,713025466
Jaune	589,3	doublet intense	92º 10'	208º 45'	58,29166667	2,87957.10^{-6}	1,716237293
Vert-Jaune	568,55	doublet intense	91º 45'	209º	58,625	3,09359.10^{-6}	1,719209973
Vert	515,2	intense	90º 44'	210º	59,63333333	3,76746.10^{-6}	1,728113666
Bleu-vert	498,1	intense	90º 26'	210º 30	60,03333333	4,03057.10^{-6}	1,73160868
Bleu-violet	475	très très pâle	89º 48'	211º	60,69166667	4,43213.10^{-6}	1,737314931
Violet	466,7	intense	89º 35'	211º 20	60,875	4,59118.10^{-6}	1,738893814

On trace la courbe $\mathbf{n} = f(\frac{1}{\lambda^2})$ *on trouve :*



C'est une droite d'équation

$$\mathbf{n} = A + \frac{B}{\lambda^2} \qquad \textit{Loi de Cauchy}$$

avec

$$A = 1,6778 \qquad et \qquad B = 13357$$

avec λ *en nm*

Chapitre 4

TP-Focométrie des lentilles minces

La focométrie est la détermination de la distance focale image (dite aussi la focale) d'une lentille mince.

4.1 Focométrie des lentilles minces convergentes

4.1.1 L'objet à l'infini

On forme l'image d'un objet très lointain (soleil par exemple),son image se forme dans le plan focale image, la distance lentille convergente-image nette représente le distance focale image.

$$\boxed{f' = \qquad cm \Longrightarrow v = \qquad \delta}$$

4.1.2 Autocollimation

*Cette méthode consiste à coller un **miroir plan** à la lentille convergente de façon à former une image nette de l'objet :*

$$A \xrightarrow{L} A_1 \xrightarrow{M} A_2 \xrightarrow{L} A'$$

Si $A \equiv F \Longrightarrow A_1 \rightarrow \infty \Longrightarrow A_2 \rightarrow \infty \Longrightarrow A' \equiv F'$

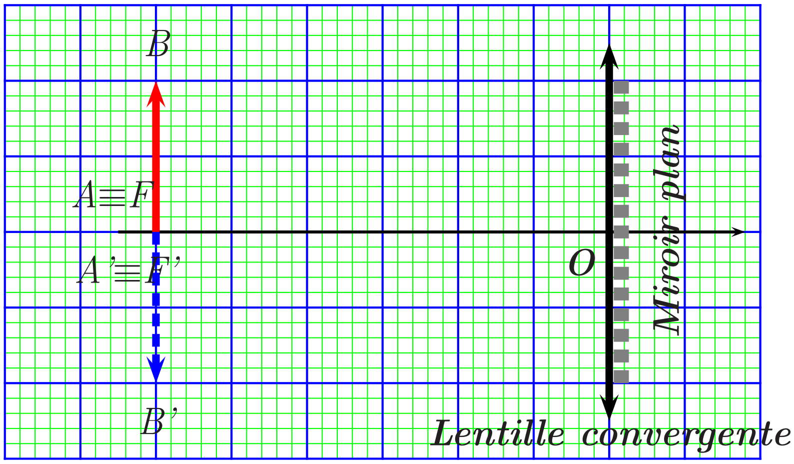
Remarque- 16 *Pour la formation de* A' *on doit inverser* F *et* F' *parce que la lumière change de sens*

Comme $\mathbf{G} = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -1$ *puisque* $\overline{OA'} > 0$ *et* $\overline{OA} < 0$ *alors*

$$\boxed{\overline{A'B'} = -\overline{AB}}$$

Conclusion *:*

$$\boxed{A \equiv F \xrightarrow{autocollimation(\mathbf{G}=-1)} A \equiv F' : f' = \overline{OA'} = \overline{OF'}}$$

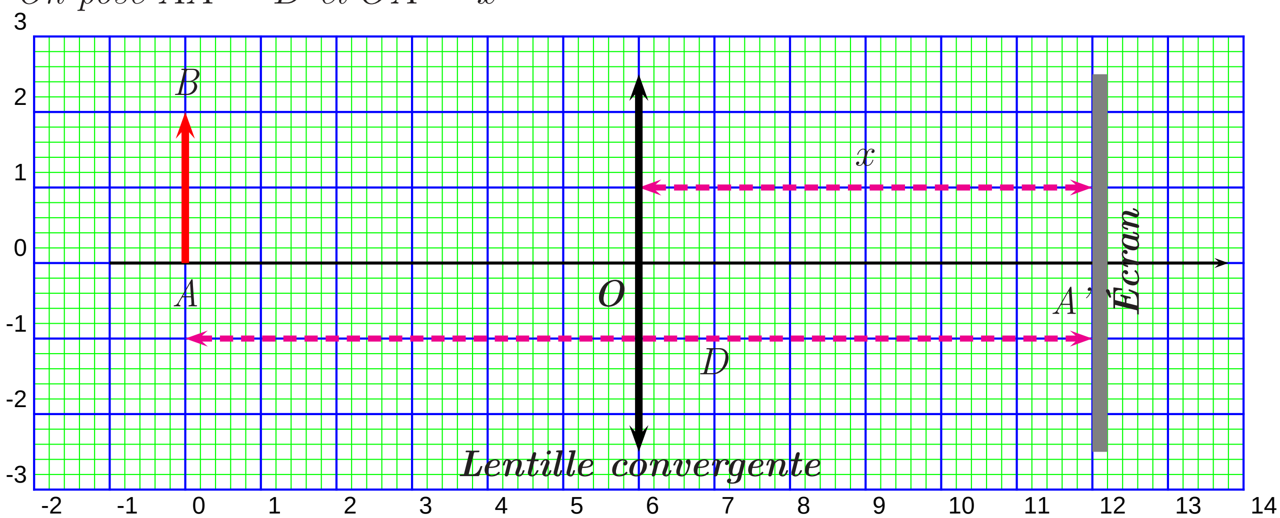


On effectue la mesure , on trouve

$$f' = \qquad cm \Longrightarrow v = \qquad \delta$$

4.1.3 Méthode de Bessel

Soit A un objet et A' son image sur un écran à travers une lentille convergente de centre optique O.
On pose $AA' = D$ *et* $OA' = x$



On fixe la distance AA'=D (distance objet-écran) et on cherche les positions de la lentille (valeurs de x autrement dit les positions de O) qui donne une image nette sur l'écran.
On applique la relation de conjugaison de ***Descartes-Snell***

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Longrightarrow (\overline{OA} - \overline{OA'})f' = \overline{OA}.\overline{OA'}$$

Or $\overline{OA} = \overline{OA'} + \overline{A'A}$ *ainsi* $\overline{OA} - \overline{OA'} = -\overline{AA'}$ *,on obtient que* $-Df' = x(x-D)$ *qu'on écrit :*

$$x^2 - Dx + Df' = 0$$

C'est une équation du second degré dont le discriminant Δ à pour expression

$$\boxed{\Delta = D(D - 4f')}$$

Expérimentalement on se place dans le cas où $D > 4f'$ c'est à dire $\Delta > 0$, donc les solutions sont

$$\boxed{x_1 = \overline{O_1A'} = \frac{D - \sqrt{\Delta}}{2} \quad et \quad x_2 = \overline{O_2A'} = \frac{D + \sqrt{\Delta}}{2} > x_1}$$

Si on pose

$$\boxed{d = \overline{O_1O_2} = \overline{O_2A'} - \overline{O_1A'} = \sqrt{\Delta}}$$

Alors on tire que

$$\boxed{d = \sqrt{D^2 - 4Df'} \Longrightarrow \left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 - 4f'\frac{1}{D}}$$

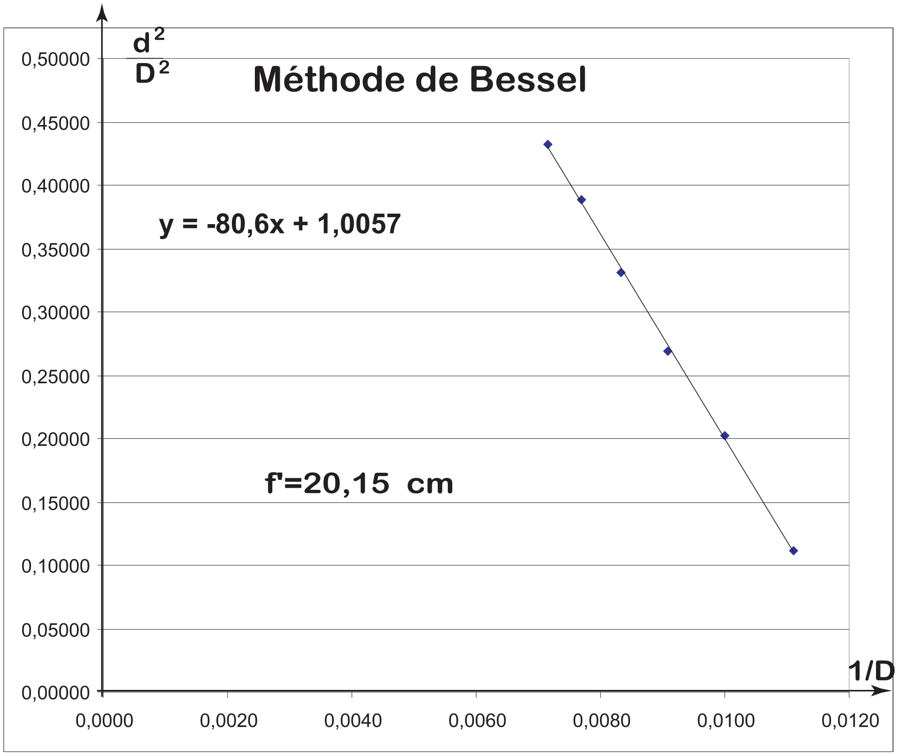
$$avec\ D > 4f'$$

On trace $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ *en fonction de* $\frac{1}{D}$ *on trouve une droite de pente* $(-\mathbf{4f'})$
On fait varier la distance D et on détermine les positions de x_1 et x_2 puis la valeur de d ,on complète le tableau suivant

D	x_1	x_2	d	$\frac{1}{D}$	$\left(\frac{d}{D}\right)^2$	f'
90	31	61	30	0,011	0,111	20,00
100	28	73	45	0,010	0,203	19,94
110	26,5	83,5	57	0,009	0,269	20,12
120	26	95	69	0,008	0,331	20,8
130	25	106	81	0,0077	0,388	19,88
140	24,5	116,5	92	0,07	0,432	19,89

$$\boxed{f'_m = 19,98\ cm}$$

On trace la courbe (Excel) on obtient :

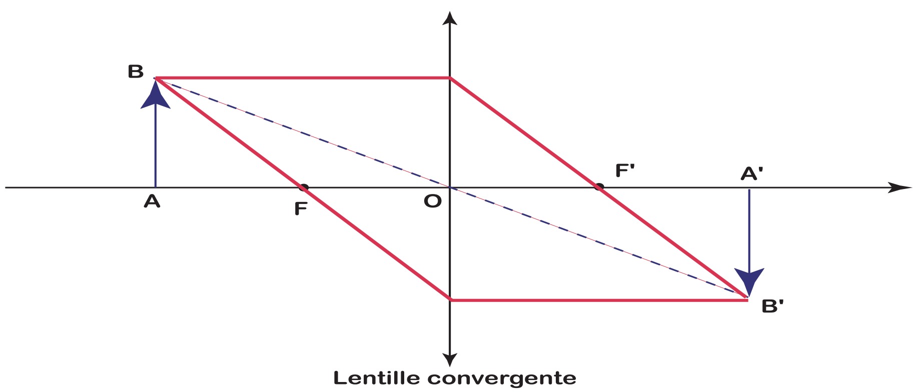


4.1.4 Méthode de Silberman

La méthode de Silberman est un cas particulier de la méthode de Bessel lorsque les deux positions sont confondues alors

$$\Delta = 0 \Longrightarrow D = 4f'$$

C'est à dire l'objet et l'écran sont symétriques par rapport à la lentille avec un grandissement $\mathbf{G} = -1$ *: C'est la méthode des 4f*

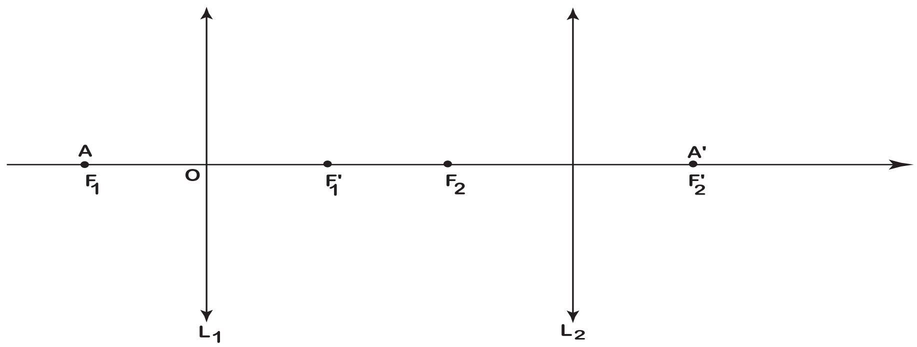


On place l'objet et l'écran contre la lentille et on les écartent symétriquement jusqu'à obtenir une image nette, on ajuste ensuite le réglage des positions pour avoir le même écart (lentille-écran) et (lentille-objet) puis on mesure la distance D .A.N :

$$D = \qquad cm \Longrightarrow f' = \qquad cm$$

4.1.5 Focométrie des lentilles divergentes :Méthode de Badal

On place l'objet A au foyer objet F_1 *de la lentille* L_1 *(en utilisant la méthode d'autocollimation) afin de former une image* A_1 *rejeté à l'infini.*

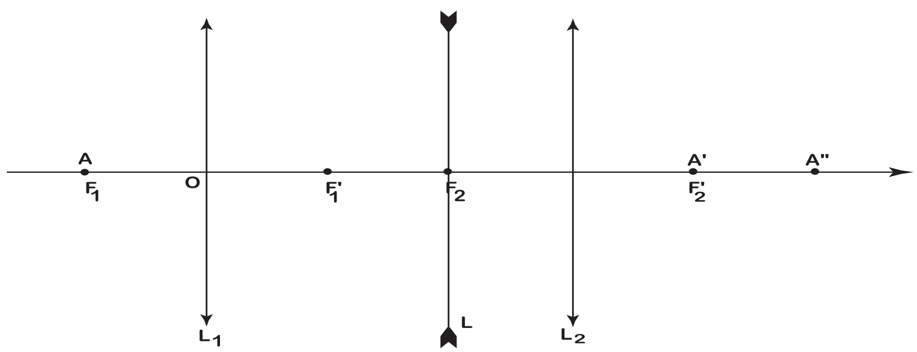


$$A \equiv F_1 \xrightarrow{L_1} A_1(\infty) \xrightarrow{L_2} A' \equiv F_2'$$

C'est à dire lorsque on place l'objet A au foyer objet alors l'image A' *est confondue avec le foyer image de la lentille* L_2*, On lit sur le banc optique la valeur de* $x_{A'}$ *en trouve :*

$$x_{A'} = \qquad cm$$

On introduit ensuite entre L_1 *et* L_2 *la lentille divergente L de focale* f'_D *à étudier , de telle manière que* ***son centre optique*** O_D ***soit confondu avec le foyer objet*** F_2 ***de la lentille*** L_2



$$A \equiv F_1 \xrightarrow{L_1} A_1(\infty) \xrightarrow{L} F' \xrightarrow{L_2} A"$$

On applique la formule de ***Newton*** *pour la lentille* L_2*, on obtient :*$\overline{F_2F'}.\overline{F_2'A"} = -f_2'^2$ *;Or* $F_2 \equiv O_D \Longrightarrow \overline{F_2F'} = \overline{OF'} = f'$ *et* $F_2' \equiv A'$ *donc*

$$f' = -\frac{f_2'^2}{\overline{A'A"}}$$

On détermine la valeur de l'abscisse de l'image $A"$ *soit* $x_{A"}$ *on trouve*

$$x_{A"} = \qquad cm$$

On déduit que

$$f'_D = -\frac{f'^2}{x_{A''} - x_{A'}} \Longrightarrow f'_D = \qquad cm$$